



ELABORACIÓN DE UN MONTAJE EXPERIMENTAL DE MIGRACIÓN IONES
CLORURO DE SODIO PARA EVALUAR LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO
SEGÚN LA NORMA NT BUILD 492

PRESENTADO POR:

DIEGO ANDRES TELLEZ BOLÍVAR.
ANDRES FELIPE GONZALEZ ZULUAGA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2020



ELABORACIÓN MONTAJE EXPERIMENTAL DE MIGRACIÓN IONES CLORURO DE
SODIO PARA EVALUAR LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

PRESENTADO POR:

DIEGO ANDRES TELLEZ BOLÍVAR.
ANDRES FELIPE GONZALEZ ZULUAGA

DIRECTOR:

CAMILO HIGUERA FLÓREZ

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.

2020



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTA D.C. DICIEMBRE DE 2020

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a la memoria de mi mamá Ady Bolívar Sastoque quien me enseñó que todo en la vida es posible y más cuando se es perseverante y constante, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí, a mi hermana Isis Vanessa Riaño Bolívar quien ha sido un apoyo incondicional en el transcurso de mi vida y es mi motor para seguir adelante y nunca rendirme, también quiero dedicar este proceso a Sandra Milena Suarez que aunque ya no esté en mi vida, fue la única persona que creyó en mí desde un principio y me dio ese empujón que necesitaba para obtener este logro en mi vida.

Diego Andres Téllez Bolívar

Dedico esta tesis a mi madre Lilia Rosa Zuluaga, a mis hermanos Beatriz Elena González y William González que siempre estuvieron pendientes y me apoyaron de todas las formas posibles sin su ayuda esto no hubiera sido posible.

Andres Felipe González Zuluaga

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro mayor agradecimiento a nuestro tutor el Ingeniero Héctor Camilo Higuera Flores, ya que fue nuestro pilar y no hubiera sido posible sin su apoyo, nos tuvo paciencia, comprensión y un total desinterés, el cual encausó nuestro trabajo con sus conocimientos.

Agradecemos a la Universidad Católica de Colombia y hacemos un extenso reconocimiento a todos los Ingenieros y nuevos colegas que fueron parte de nuestra educación superior, cabe decirles que somos y seremos una representación de ellos ante el mundo de todas las enseñanzas que nos ofrecieron.

TABLA DE CONTENIDO

1 GENERALIDADES.....	17
1.1 ANTECEDENTES	17
2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
3 OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4 JUSTIFICACIÓN	20
5 DELIMITACIÓN.....	21
5.1 TIEMPO	21
5.2 CONTENIDO.....	21
6 MARCO TEÓRICO	22
6.1 NT BUILD 492	22
6.2 NORMA ASTM C 1202	26
6.3 PERMEABILIDAD EN CONCRETOS	28
6.4 DIFUSIÓN.....	29
6.4.1. Inicios sistemáticos de la difusión.....	30
6.4.2. Estudio de la difusión.	32
6.4.3 Ley de Fick.....	32
6.4.4. Difusión en concretos.	33
6.5 RELACIÓN AGUA CEMENTO	35
6.6 PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	37
6.6.2. Impermeabilidad.....	38
6.6.3. Resistencia.	38
6.6.4. Cohesividad.	38
6.7 VENTAJAS DEL CONCRETO.....	38

6.8 DESVENTAJAS DEL CONCRETO.....	38
6.9 INSPECCION EN LOS CONCRETOS.....	39
6.10 DETERIORO DEL CONCRETO.....	39
6.11 TIPOS DE DETERIOROS DEL CONCRETO.....	40
6.12 DAÑO POR ACCIONES QUIMICAS.....	40
6.12.1 Reacción con ácidos	40
6.12.2 Ácidos: inorgánicos	40
6.12.3 Ácidos orgánicos.....	41
6.12.4 Sales orgánicas.....	42
6.12.5 Sales inorgánicas.....	42
6.12.6 Reactividad Alkali-Agregado	43
6.12.7 Carbonatación.....	43
6.12.8 Resistencia química.	43
6.12.9 Sulfatos y cristaliza con de sales.....	43
6.12.10 Recomendaciones contra el ataque de sulfatos.	44
6.12.11 Resistencia a los cloruros y corrosión de la armadura.....	44
6.12.12. Como mitigar problema de corrosión.....	44
6.13 ENSAYOS DE MIGRACIÓN.....	47
6.14 MARCO CONCEPTUAL	49
6.14.1 Concreto.	49
6.14.2 Curado.	49
6.14.3 Migración.	49
6.14.4 Difusión.	49
6.14.5 Coeficiente de difusión.	49
6.14.6 Estandarización.	49
6.14.7 Permeabilidad.	49
6.14.8 Cloruro.	49
6.14.9 Corrosión.	49
6.14.10 Durabilidad.	50
6.14.11 Electromigración.	50
6.14.12 Resistividad eléctrica	50
6.14.13 Ion.	50
6.15 MARCO LEGAL.....	50
7 METODOLOGÍA.....	52
7.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.	52
7.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS.....	52
7.3 PREPARACIÓN Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	52

7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
8 FUNDAMENTO DEL ENSAYO	56
8.1 EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO (MS).....	57
8.2 EL PROCEDIMIENTO DETALLADO (MD).....	57
9 IMPLEMENTACIÓN DEL NORD TEST METHOD 492.....	58
9.1 MONTAJE DE LAS MUESTRAS	58
9.2 CONEXIÓN	60
9.3 CALIBRACIÓN DEL ENSAYO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE POTENCIA 30V ...	60
9.4 TRACCIÓN DE LAS MUESTRAS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.61
9.5 IDENTIFICACIÓN DE PENETRACIÓN.....	61
10 CALIBRACION ENSAYO NORDTEST BUILD 492.....	63
10.1 CALIBRACIÓN ENSAYO MUESTRAS CON CENIZA VOLANTE	63
10.2 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON CENIZA VOLANTE.....	64
10.3 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON HUMO SÍLICE	65
10.4 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIONES DE A/C.....	67
11 RESULTADOS	69
11.1 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON CENIZA VOLANTE - RESULTADOS UNIVERSIDAD NACIONAL.....	69
11.2 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON CENIZA VOLANTE - RESULTADOS UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA	71
11.3 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON HUMO SÍLICE - RESULTADOS UNIVERSIDAD NACIONAL.....	73
11.4 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON HUMO SÍLICE - RESULTADOS UNIVERSIDAD CATÓLICA	75
11.5 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON DIFERENTES RELACIONES DE A/C - RESULTADOS UNIVERSIDAD NACIONAL.....	77
11.6 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON DIFERENTES RELACIONES DE A/C - RESULTADOS UNIVERSIDAD CATLÓCA	79
12 ANALISIS DE RESULTADOS.....	81
13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82

13.1 CONCLUSIONES	82
13.2 RECOMENDACIONES	83
14 BIBLIOGRAFÍA.....	84
15 ANEXO.....	87

LISTA DE GRAFICÁS

Gráfica 1. Carga total en el final del ensayo acelerado de permeabilidad a los cloruros en función de la relación agua cemento.....	28
Gráfica 2. Comparación de valores de ensayos Nord Test 492 de ceniza volante	65
Gráfica 3. Comparación de valores de ensayos Nord Test 492 de humo de sílice	66
Gráfica 4. Comparación de valores de ensayos Nord test 492 con diferentes reacciones a/c.....	68
Gráfica 5. Representación Coeficiente de migración de ceniza volante – Universidad Nacional de Colombia	70
Gráfica 6. Representación Coeficiente de migración de ceniza volante – Universidad Católica de Colombia	72
Gráfica 7. Representación Coeficiente de migración de humo de sílice – Universidad Nacional de Colombia	74
Gráfica 8. Representación Coeficiente de migración de humo de sílice – Universidad Católica de Colombia.	76
Gráfica 9 Representación Coeficiente de migración de diferentes relaciones de a/c – Universidad Nacional de Colombia.	78
Gráfica 10. Representación Coeficiente de migración de diferentes relaciones de a/c – Universidad Católica de Colombia.	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tensión y duración (NT Build 492 - página 8).....	26
Tabla 2. Penetrabilidad iones de cloruro.....	27
Tabla 3. Flujo causado por la difusión	31
Tabla 4. Valores típicos de difusión.	34
Tabla 5. Relación agua cemento con la resistencia.....	35
Tabla 6. Tipos de ácidos inorgánicos.....	41
Tabla 7. Tipos de ácidos orgánicos	41
Tabla 8. Tipos de Aniones	42
Tabla 9. Clasificación de la agresividad química	45
Tabla 10. Tipo de proceso débil medio y fuerte	46
Tabla 11. Valores máximos de separación de fisuras.....	46
Tabla 12. Resultados de ensayos Ceniza volante NT Build 492.....	64
Tabla 13. Resultados de ensayos Humo de Sílice Nord Test 492	65
Tabla 14. Resultados de ensayos Nord Test 492 con diferentes relaciones a/c.....	67
Tabla 15. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas CV al 0%,10%, 20% y 30% en instalaciones de la universidad Nacional.....	69
Tabla 16. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con ceniza volante – Universidad Nacional de Colombia	70
Tabla 17. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas CV al 0%,10%, 20% y 30% en instalaciones de la Universidad Católica de Colombia.	71

Tabla 18. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con ceniza volante – Universidad Católica de Colombia	72
Tabla 19. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas de concreto con humo sílice al 0%,5%, 10% y 15% en instalaciones de la Universidad Nacional.....	73
Tabla 20. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con humo de sílice – Universidad Nacional de Colombia	74
Tabla 21. . Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas de concreto con humo sílice al 0%,5%, 10% y 15% en instalaciones de la Universidad Católica de Colombia	75
Tabla 22. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con humo de sílice – Universidad Católica de Colombia	76
Tabla 23. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas de concreto con diferentes relaciones de a/c 50%,55%, 60% y 65% en instalaciones de la Universidad Nacional.	77
Tabla 24. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con diferentes relaciones de a/c – Universidad Nacional de Colombia	78
Tabla 25. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas de concreto con diferentes relaciones de a/c al 50%,55%, 60% y 65% en instalaciones de la Universidad Católica de Colombia	79
Tabla 26. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con diferentes relaciones de a/c – Universidad Católica de Colombia	80

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema montaje del cilindro.....	23
Figura 2. Cátodo Y Soporte Plástico.....	23
Figura 3. Profundidades de penetración de cloruro.	24
Figura 4. Montaje ensayo ASTM C1202.	27
Figura 5. Diagrama de difusión.....	29
Figura 6. Representación de la mezcla de dos especies por difusión	29
Figura 7. Experimento de Graham.....	30
Figura 8 Esquema simplificado de las variables que influyen en el concreto	37
Figura 9 Procedimiento ensayo NT Build 492.....	54
Figura 10. Muestras de Ceniza volante	58
Figura 11. Envoltura de caucho	59
Figura 12 Estructura de acrílico	59
Figura 13. Demostración conexión fuente de voltaje	60
Figura 14. Montaje muestras de Ceniza volante.....	60
Figura 15 Ensayo de tracción indirecta.....	61
Figura 16. Representación del contraste de la penetración de cloruros reconocible por reacción con nitrato de plata.....	63

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se representa el montaje y procedimiento del ensayo NT Build 492 que fue diseñado para implementar la migración del ion cloruro por medio de un campo eléctrico durante 24 horas para así poder medir la penetración y la afectación que tiene en el acero de refuerzo del concreto en construcciones marítimas que es donde más se presenta este fenómeno.

Para verificar la calibración de este laboratorio, se realizaron ensayos con muestras de concreto empleando el modelo del montaje NT Build 492 de la universidad nacional y en la universidad católica con el montaje experimental que se evalúa en la presente tesis, con la finalidad de realizar comparables entre los resultados obtenidos en la Universidad Nacional de Colombia versus resultados de la Universidad Católica de Colombia y así mismo, verificar los porcentajes de migración para examinar el comportamiento de cada una de ellas.

INTRODUCCIÓN

El concreto reforzado es uno de los materiales más usados a nivel mundial en construcciones verticales, obras de vías y carreteras, ya que sus características físico – químicas brindan ciertas ventajas sobre otros materiales de construcción como su trabajabilidad, resistencia a la compresión y a la tracción, durabilidad, capacidad de adoptar distintas formas, pero estas características se ven afectadas por ciertos factores violentos del medio ambiente que van generando un deterioro de las estructuras de concreto.

El concreto es un material poroso a través del cual puede circular cualquier fluido, esto hace que sus propiedades se vean alteradas y degradadas durante el transcurso del tiempo, debido a este fenómeno también se genera una penetración de iones de cloruro de sodio que al contacto con el acero del concreto reforzado se genera una corrosión y a su vez la figuración del mismo.

A finales del siglo XX y durante el XXI se han generado investigaciones para que ayuden a entender mejor el fenómeno de deterioro del concreto debido a la penetración del ion cloruro y así mismo se puedan dar soluciones para la mitigación de esta problemática (Corrosión del acero de refuerzo). Colombia tiene aproximadamente 3200 km de costas, las estructuras ubicadas en estas zonas son muy vulnerables al ataque por iones cloruros provenientes de la evaporación del agua del océano. [1]

La implementación del ensayo NT Build 492 nace de la necesidad de tener un estudio calificado y eficiente que permita evaluar la capacidad que tienen los concretos de resistir la permeabilidad ante ataques químicos en un tiempo corto, por ende es tan importante continuar avanzando en la investigación de ensayos que permitan continuar obteniendo resultados de las muestras como se presentaran en el siguiente trabajo.

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El deterioro de las estructuras de concreto reforzado ha sido un contenido de gran importancia para el sector de la construcción. En los Estados Unidos de América se evidencia que esta patología causa pérdidas hasta de 300,000 millones de dólares por fallencias en la infraestructura. Por ende, se aprecia que es viable disminuir las pérdidas aproximadamente hasta de 100,000 millones de dólares obteniendo medidas para prevenir la corrosión. [2]

Debido a esto se tiene una preocupación porque esta patología genera costos por mantenimiento o rehabilitación, esto provocó que, a numerosas entidades a nivel internacional les interesara realizar estudios rápidos de migración donde se determinarán los orígenes, consecuencias y diferentes opciones para dar una solución a la corrosión en las estructuras de concreto reforzado. [3]

En la actualidad aproximadamente todas las construcciones que se ejecutan de concreto reforzado y como cualquier otro elemento a medida que pasa el tiempo sufre un deterioro debido a las condiciones en las que se ve expuesto [4]. La corrosión del acero en las estructuras de concreto es uno de los principales problemas de dicho material, ya que conlleva a un mantenimiento y una reparación periódica, para la ingeniería civil y estructural, es importante entender este fenómeno ya que por lo general las estructuras como construcciones verticales, puentes y vías, se procesan utilizando este material como fuente principal. Los primeros ensayos que se realizaron fueron de difusión pura, lo que quiere decir que no requerían ninguna fuerza externa aplicada, lo cual hacía que el proceso fuera demorado entre 30 a 90 días aproximadamente dependiendo del equipo en el que se ensayara, actualmente se emplean los ensayos de migración del ion cloruro, ya que se acelera el proceso obteniendo resultados en cuestión de horas al aplicar fuerzas externas (electromigración) que permite comprender cómo se ocasiona la corrosión en el acero por la penetración del cloruro en el concreto y de esta manera poder evaluar la duración de las estructuras de concreto reforzado. [1]

2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se tienen interrogantes con respecto a la durabilidad del concreto, ya que algunos agregados de los que está compuesto reaccionan químicamente con el medio de contacto. La permeabilidad del concreto varía dependiendo del proceso de mezclado, por el uso aditivos que alteran sus propiedades además del proceso de vaciado y curado, el exceso de agua y carencia de agregado fino en la mezcla de concreto genera efectos negativos como la porosidad en la estructura, estos efectos negativos permiten que se penetren agentes químicos dañinos para la estructura[5] que trae como consecuencia la formación de un gel alrededor del acero de refuerzo que reacciona expandiéndose y genera una mayor presión capaz de fisurar el concreto. debido a esto surge la necesidad de ejecutar ensayos donde se evidencie esta patología, puesto que esta migración de iones son los responsables del deterioro y corrosión de las estructuras en concreto reforzado [5]

El concreto no solamente se usa por su resistencia, sino que también por su durabilidad, donde muestra su capacidad de soportar la exposición a los agentes químicos. Esta capacidad puede verse afectada por las condiciones de humedad y temperaturas extremas, acción electrolítica, entre otros; los cuales están unidos a las particularidades de cada lugar.

Durante el transcurso del proceso educativo se generan interrogantes tanto en los procesos constructivos como en las consecuencias que tiene el medio ambiente en las estructuras de concreto, por consiguiente se debe entender y tener un amplio conocimiento para mitigar estos fenómenos de penetración de cloruros.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Mediante el progreso del presente proyecto surge las interrogantes, ¿Qué instrumento se emplea para determinar la durabilidad que tienen las estructuras de concreto reforzado que están sometidas a concentraciones del ion de cloruro de sodio?, ¿cómo funcionan los ensayos? ¿Cómo calibrar y garantizar su funcionamiento?, ¿Cómo prevenir el deterioro de las estructuras en concreto? se plantea realizar una fase de investigación para recolectar información y por último recrear un instrumento que simule las condiciones a las que va estar expuestas la estructura en concreto calibrándolo mediante la comparación con otro equipo ya calibrado y realizando ensayos que garanticen su funcionalidad.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar el instrumento del montaje experimental para el ensayo rápido de migración de iones de cloruros en el concreto, para realizar ensayos que permitan comprobar su adecuado funcionamiento, que permita evaluar la permeabilidad de las diferentes muestras de concreto y determinar experimentalmente su durabilidad.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- calibrar el instrumento del montaje experimental que se construyó comparando la diferencia de los resultados obtenidos de las muestras ensayadas tanto en la universidad católica como en la universidad nacional por medio del porcentaje de error aceptable.
- Ensayar cilindros de concreto con diferentes compuestos como humo sílice, ceniza volante para comparar los resultados de su comportamiento respecto a la permeabilidad.
- Analizar los resultados de las muestras ensayadas con respecto al funcionamiento del montaje del ensayo rápido de migración de iones de cloruros y los resultados obtenidos.
- Realizar guía de laboratorio para la correcta operación de la máquina y adecuado procedimiento de los ensayos según la norma NT Build 492.
- Establecer el nivel de afectación de las probetas sometidas a la agresión de cloruros, así como apreciar la efectividad de los componentes de mitigación.

4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad Colombia cuenta con una localización estratégica, ya que el país cuenta con intersección entre los países del Norte y del Sur de América, por otro lado, tiene extensas costas sobre los océanos Atlántico y Pacífico. En las zonas costeras se evidencia un ambiente agresivo para las estructuras de concreto reforzado que generan daños y disminución de la vida útil de un concreto, estos pueden estar asociados a los distintos tipos de exposición que se ven afectados según, la calidad del concreto, el ambiente, el uso al que estará sometido y el mantenimiento que se le aplique

La presente investigación contribuye a uno de los métodos de cómo medir la migración de iones cloruro de sodio, ayudando a evaluar este tipo de problemas como la permeabilidad del concreto, Uno de los mecanismos para el avance de nuevos estudios de esta patología en concretos es la adaptación a la tecnología, para formar y realizar prototipos que proporcionen datos con mayor exactitud y así comprender el comportamiento del objeto de estudio.

Los instrumentos para realizar este tipo de ensayos son de difícil acceso y tienen un costo elevado además que son importados, en Colombia aún no se cuenta con una norma oficial sobre ensayos rápidos de migración de iones de cloruros, lo cual ha limitado el desarrollo de estos estudios a profundidad, el montaje de estos ensayos se pueden realizar basándose en los modelos de la norma NT Build 492 sin ningún inconveniente, por eso es tan importante desarrollar el instrumento del montaje adecuadamente calibrado y funcional, que cumpla con requisitos requeridos para evaluar las muestras, para seguir avanzando en mejorar la calidad de estructuras expuestas a intemperies agresivas.

Durante los últimos años, la Universidad Católica de Colombia, ha incitado en el programa de Ingeniería Civil la investigación de nuevos referentes en sus diferentes espacios y es por esto que hace este tipo de propuestas, ya que van enfocadas a la obtención de resultados, implementando nuevas tecnologías y dejando como antecedente las diferentes disciplinas a las que debe estar encaminada la ingeniería Civil, para el avance de sus investigaciones.

5 DELIMITACIÓN

El proyecto se centra en la elaboración del montaje experimental de migración de iones de cloruro, basándonos en el método NT Build 492, pasando desde una investigación minuciosa hasta la obtención de los resultados, durante el proceso de desarrollo del trabajo se tiene como alcance realizar; una investigación, llevar a cabo el montaje, calibración del equipo, funcionamiento adecuado, y por último la obtención de varios resultados, producto de modificar las variables como; proporciones, energía, y material, con el fin de comparar resultados y llegar a la configuración más óptima que simule el comportamiento in situ del concreto, frente al deterioro ocasionado.

5.1 TIEMPO

Se desarrolló en un período de 18 semanas, en las cuales se tiene en cuenta desde la adquisición de los recursos y materiales para el desarrollo del proyecto, inclusive hasta la finalización de actividades de laboratorio con sus pertenecientes resultados.

5.2 CONTENIDO

Se contara con material de apoyo de la investigación realizada, los antecedentes, la guía de laboratorio, documentación fotográfica, informe de resultados y gráficas de resultados.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 NT BUILD 492 (ENSAYO ACELERADO DE MIGRACIÓN DE ION DE CLORURO).

El método explicado en la norma NT Build 492 es el procedimiento para determinar el coeficiente de migración de cloruro en el concreto o materiales a base de cemento, se usa en muestras endurecidas con el fin de conocer la resistencia del material a la penetración del cloruro.

El método requiere muestras cilíndricas con un diámetro de 100 mm y un espesor de 50 mm, cortada de los cilindros de fundición o núcleos perforados con una longitud mínima de 100 mm. Los cilindros y núcleos deben cumplir los requisitos descritos en NT BUILD 201 y NT BUILD 202 respectivamente. Tres muestras se deben utilizar en la prueba. [6]

❖ Reactivos y aparatos

1. Agua destilada o desionizada.
2. El hidróxido de calcio: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, calidad técnica.
3. Cloruro de sodio: NaCl , calidad química.
4. El hidróxido de sodio: NaOH , calidad química.
5. El nitrato de plata: AgNO_3 , calidad química. [6]

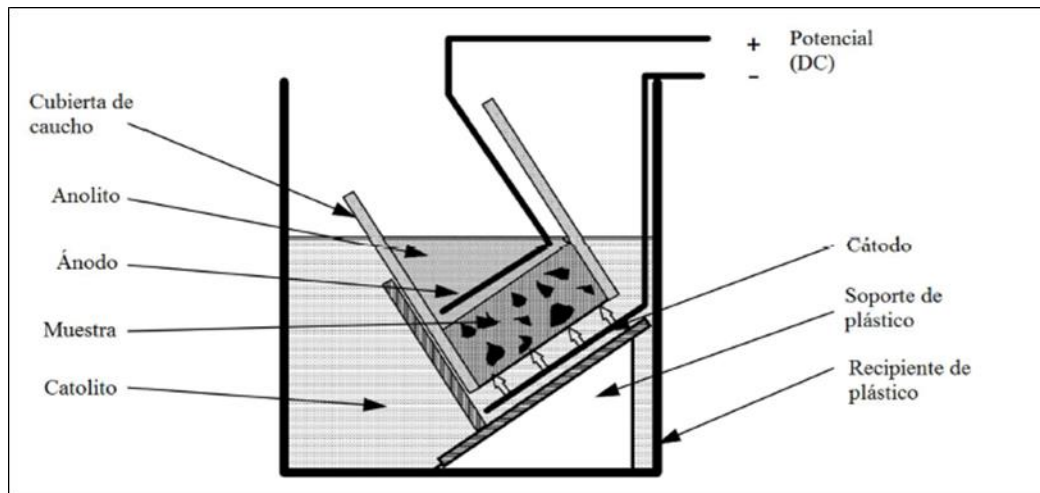
❖ Aparato

1. Sierra de diamante.
2. Recipiente de vacío: capaz de contener al menos tres especímenes.
3. Bomba de vacío: capaz de mantener una presión de menos de 50 mbar (5kPa) en el recipiente.
4. Ánodo: malla de acero inoxidable o una placa con agujeros temperaturas de la muestra y las soluciones durante el ensayo se pueden mantener en el intervalo de 20 a 25 ° C
5. Amperímetro: capaz de mostrar actual para ± 1 mA.
6. Termómetro o termopar con el dispositivo de lectura,
7. Cualquier dispositivo adecuado para la división de la muestra.
8. Botella de spray.
9. Pie de rey con una precisión de $\pm 0,1$ mm.
10. Regla con una escala mínima de 1 mm.

11. Equipo para el análisis de cloruro por el método de ensayo.[6]

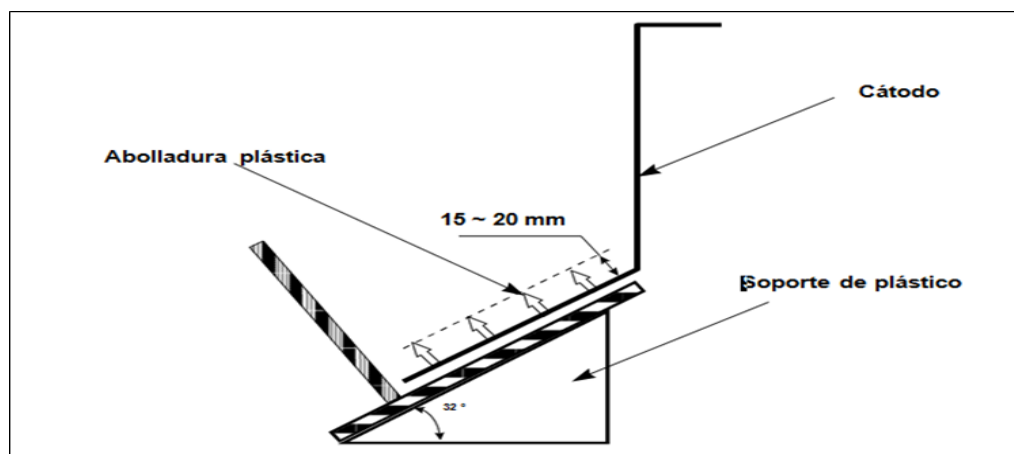
A continuación, se muestra el esquema con sus partes principales para el montaje del ensayo NT Build 492.

Figura 1. Esquema montaje del cilindro



Fuente: NT Build 492, 1999

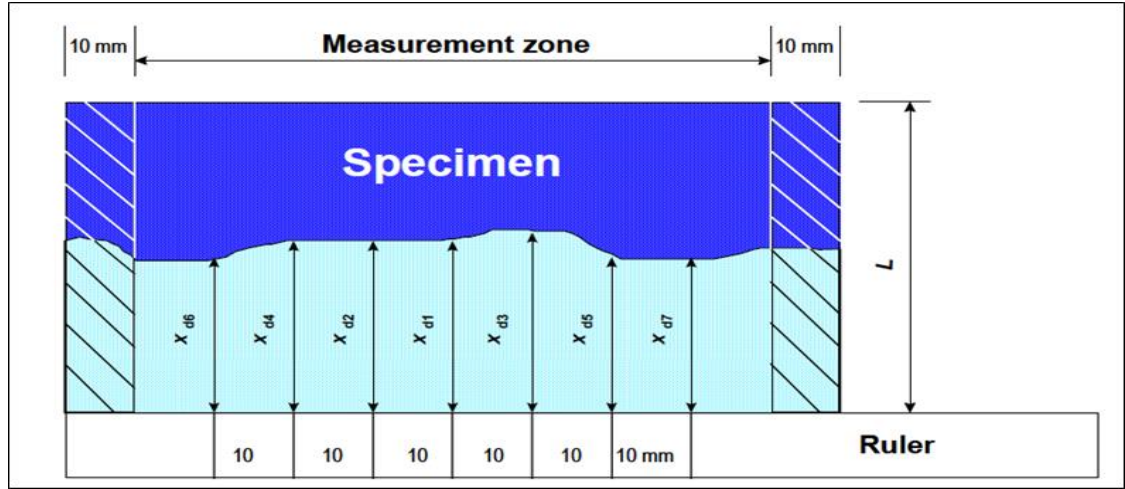
Figura 2. Cátodo Y Soporte Plástico



Fuente: NT Build 492, 1999

Para analizar los resultados de las pruebas las normas emplean las siguientes gráficas tomando medidas cada 10 mm.

Figura 3. Profundidades de penetración de cloruro.



Fuente: NT Build 492, 1999

En este ensayo como se observa en el montaje, una de las caras queda expuesta a la solución de cloruro, el potencial eléctrico se aplica a través de la muestra para acelerar el proceso, los iones de cloruro penetran en la muestra luego de 24 horas aproximadamente o en un rango de 6 a 96 horas con una tensión inducida de 10v-60v, luego se extrae la muestra se aplica nitrato de plata sobre el material se hace un chequeo visual, se mide como se muestra en la (Figura 3) y se procede a realizar los siguientes cálculos.

❖ Coeficiente de migración no en estado estacionario

$$D_{nssm} = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t}$$

$$E = \frac{U - 2}{L}$$

$$\alpha = 2 \sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{2c_d}{c_0} \right)$$

❖ **Coeficiente de migración en estado no estacionario, m^2 / s ;**

z: Valor absoluto de la valencia de iones, para el cloruro, $z=1$.

F: Constante de Faraday, $F = 9.648 \times 10^4 \text{ J} / (\text{V} \cdot \text{mol})$.

T: Valor absoluto de la tensión aplicada, V.

R: Constante de gas, $R = 8.314 \text{ J} / (\text{K} \cdot \text{mol})$.

T: Valor promedio de temperaturas iniciales y finales en la solución de anolito, K.

L: Espesor de la muestra, m.

X_d : Valor medio de la profundidad de penetración, m.

t: Duración de la prueba, segundo.

Erf^{-1} : Inverso de la función de error.

C_d : Concentración de cloruro en la que cambia el color, $C_d = 0,07 \text{ N}$ para el concreto OPC.

C_0 : Concentración de cloruro en solución de catolito; $C_0 = 2\text{N}$ [6]

Siendo:

$$\text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{2 \times 0.07}{2} \right) = 1.28$$

Tabla 1. Tensión y duración (NT Build 492 - página 8)

Corriente inicial / 30V (Con 30 V) (mA)	Voltaje aplicado U (Después del ajuste) (V)	Posible nueva corriente I_0 (MA)	Duración de la prueba (horas)
$I_0 < 5$	60	$I_0 < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_0 < 20$	48
$10 \leq I_0 < 15$	60	$20 \leq I_0 < 30$	24
$15 \leq I_0 < 20$	50	$25 \leq I_0 < 35$	24
$20 \leq I_0 < 30$	40	$25 \leq I_0 < 40$	24
$30 \leq I_0 < 40$	35	$35 \leq I_0 < 50$	24
$40 \leq I_0 < 60$	30	$40 \leq I_0 < 60$	24
$60 \leq I_0 < 90$	25	$50 \leq I_0 < 75$	24
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_0 < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_0 < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_0 < 120$	24
$I_0 \geq 360$	10	$I_0 \geq 120$	6

Fuente: NT Build 492, 1999

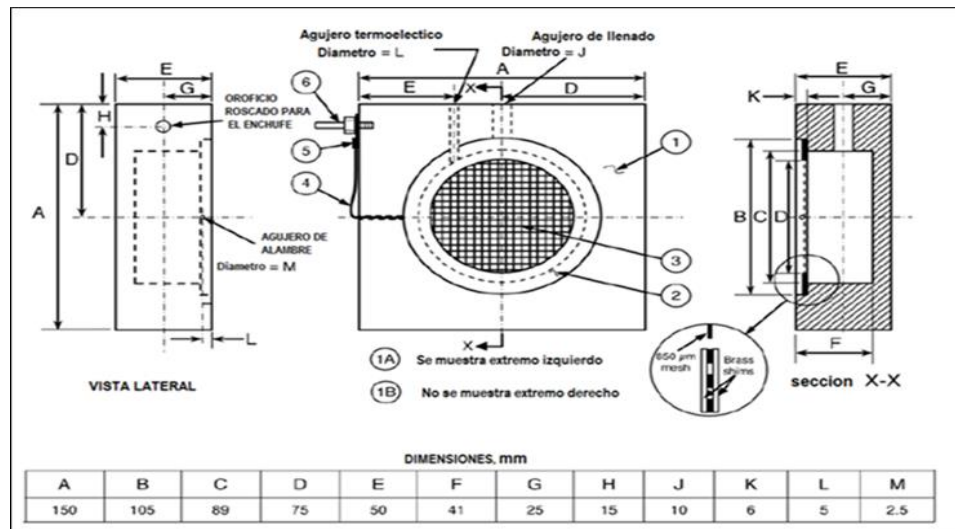
Nota: Para las muestras con un contenido de ligante especial, tales como morteros de reparación o lechadas, corrija la corriente medida Multiplicando por un factor (aproximadamente igual a la relación de contenido de aglutinante normal al contenido real de aglutinante) con el fin de ser capaz de utilizar la tabla anterior.[6]

6.2 NORMA ASTM C 1202 (PRUEBA RÁPIDA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL CLORURO).

Este ensayo busca acelerar la penetración de iones de cloruro para poner a prueba la resistencia del concreto usando dos muestras con diámetros de 100mm con un espesor de 50mm las cuales se someten a una carga eléctrica de 60 v durante tres horas con el fin de medir la cantidad de corriente eléctrica (en periodos de 30 minutos) durante 6 horas, los extremos de una de las muestras se encuentra en un recipiente en contacto con cloruro de sodio NaCl al 0.3N que actúa como ánodo y la otra en otro recipiente en contacto con hidróxido de sodio NaOH que actúa como cátodo. [7]

Este método funciona para conocer la calidad de las muestras según el tipo de material y compuestos del concreto afectan factores como el tiempo de curado, la edad de la muestra y el contacto de la muestra con algún sellador durante el montaje.

Figura 4. Montaje ensayo ASTM C1202.



Fuente: ASTM C1202, 2012

La resistencia a la penetración de iones de cloruro se encuentra relacionada directamente con la carga aprobada medida en coulomb, a continuación, se muestra la tabla con la clasificación de los valores encontrados en la ASTM C1202

Tabla 2. Penetrabilidad iones de cloruro

TABLE X1.1 PENETRABILIDAD DE IONES DE CLORURO		
CARGA (COULOMB)	PENETRABILIDAD ION DE CLORURO	
>4,000	High	Alto
2,000–4,000	Moderate	Moderado
1,000–2,000	Low	Bajo
100–1,000	Very Low	Muy Bajo
<100	Negligible	Despreciable

Fuente: ASTM 1202,2012, Tabla x1.1, pg.7

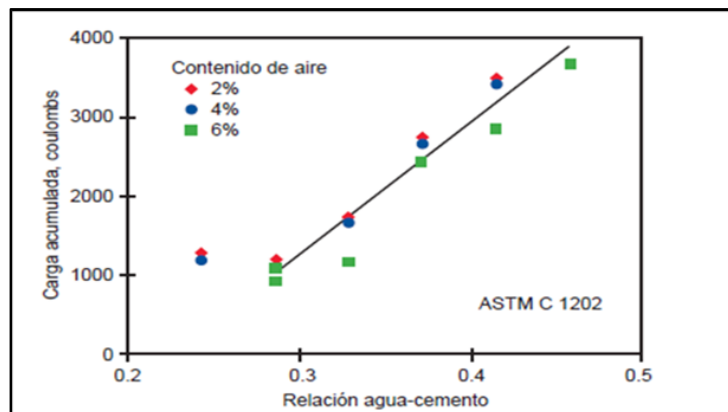
6.3 PERMEABILIDAD EN CONCRETOS.

El concreto usado en estructuras de retención de agua o expuestas a condiciones del tiempo u otras condiciones severas de exposición deben ser casi impermeables o estancas. La permeabilidad se encuentra en función de la calidad de la pasta, la disminución de la permeabilidad aumenta la resistencia al congelamiento y al deshielo del concreto, la restauración, la penetración de sulfatos y de iones cloruros, además de otros ataques químicos.

La permeabilidad es afectada por la relación agua-cemento, el grado de hidratación del cemento y el periodo de curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere una relación agua-cemento baja y un periodo de curado adecuado, la permeabilidad aumenta con el secado.

La siguiente imagen basada en el ensayo ASTM C1202 muestra las diferentes relaciones agua cemento sobre la resistencia del concreto a la penetración de los iones de cloruro acelerados por conducción eléctrica, La carga total en coulomb ha sido considerablemente reducida con una baja relación agua-cemento. Los resultados también muestran que una carga más baja pasó cuando el concreto contenía mayor cantidad de aire incluido. [8]

Gráfica 1. Carga total en el final del ensayo acelerado de permeabilidad a los cloruros en función de la relación agua cemento.



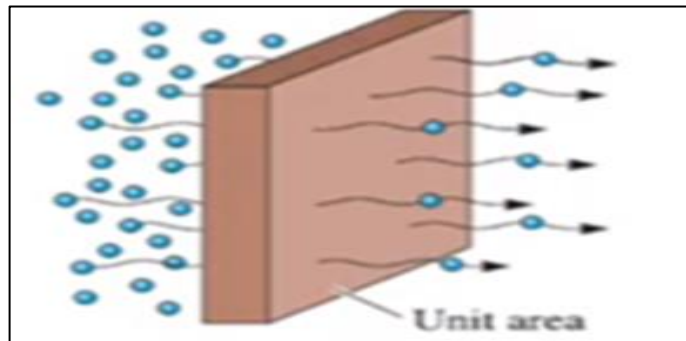
Fuente: Pinto y Hover 2001

6.4 DIFUSIÓN.

El movimiento de las moléculas o iones bajo un gradiente de concentración o, más estrictamente, potencial químico, a partir de una zona de alta concentración a una zona de baja concentración [6]

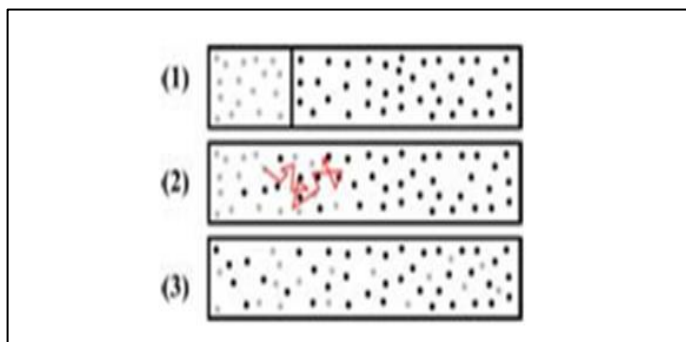
En este proceso se inicia un flujo irreversible de materia, cuando la concentración está cambiando de altas a bajas, este flujo se conoce como difusión, este fenómeno consiste en el transporte neto de materia por movimiento atómico que involucra un intercambio de energía, masa o momentos dentro del sistema.

Figura 5. Diagrama de difusión



Fuente: Askeland capítulo 5

Figura 6. Representación de la mezcla de dos especies por difusión



Fuente: H. Juárez Valencia, "Modelos y Problemas de Difusión," 2015.

La difusión es impulsada por los gradientes de concentración para que el ion pueda pasar los iones migran entre las soluciones hasta que ambos tengan la misma concentración, La descripción de la difusión utiliza modelos matemáticos

basados en hipótesis fundamentales o leyes. La más utilizada es la ley de Fick. En general, las ideas modernas de difusión se deben principalmente a dos científicos: Tomas Graham y Adolf Fick.

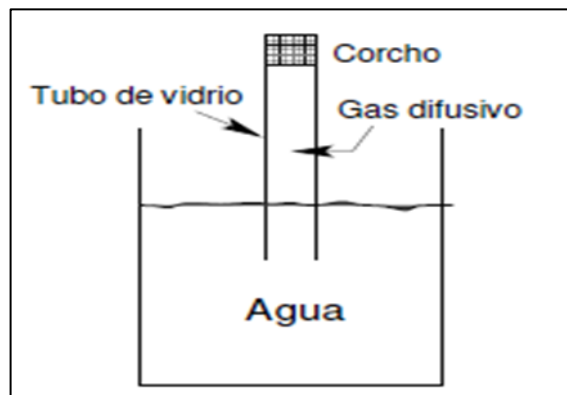
6.4.1. Inicios sistemáticos de la difusión. Tomas Graham (1805-1869) fue un químico escocés muy conocido por su trabajo sobre difusión de gases, realizado entre 1828 y 1833

Ley de Graham. “La difusión ó inter mezcla espontánea de dos gases en contacto se ejecuta por un intercambio de posición de volúmenes infinitamente pequeños, siendo, en el caso de cada gas, inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad del gas”. Es decir, inversamente proporcional a la raíz cuadrada de las masas de los gases.[9]

Entonces, Graham encontró que el grado de efusión de un gas es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la masa de sus partículas. Esta ley puede escribirse matemáticamente como:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

Figura 7. Experimento de Graham



Fuente H. Juárez Valencia, “Modelos y Problemas de Difusión,” 2015.

Donde

- V_i es la razón de efusión del i -ésimo gas, es decir volumen ó número de moléculas que atraviesan el corcho por unidad de tiempo.
- m_i es la masa molar del i -ésimo gas.

Entonces si una molécula de un gas pesa cuatro veces más que otra ésta escapara a través del corcho poroso a la mitad de la razón de la otra.

Graham también realizó experimentos importantes sobre difusión en líquidos con soluciones a diferentes concentraciones y demostró que la difusión de líquidos es varios cientos de veces más lenta que la difusión de gases. Así mismo, observó que el proceso de difusión es aún más lento conforme pasa el tiempo. Pero lo más importante es que en ciertos experimentos con sales, aunque algunas de sus conclusiones no tenían mucho fundamento, estableció que “las cantidades que se difunden están en proporción a la cantidad de sal en la solución”. Es decir, el flujo causado por difusión es proporcional a la diferencia de concentración de sal, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Flujo causado por la difusión

% Sal	Flujo relativo
1	1.00
2	1.99
3	3.01
4	4.00

Fuente: H. Juárez Valencia, “Modelos y Problemas de Difusión,” 2015.

6.4.2. Estudio de la difusión. La difusión fue descrita y estudiada como una teoría fenomenológica por el por el médico y fisiólogo alemán Adolf Fick. (1829–1901). Intentó estudiar matemáticas y física, pues tenía una fuerte inclinación hacia estos campos de conocimiento, pero dos años después de haber ingresado a dicha carrera, su hermano lo convenció, y se cambió a medicina, graduándose en 1852.

En la primera mitad del siglo XIX el concepto de difusión en líquidos todavía no estaba muy claro y las opiniones acerca del fenómeno de disolución de sales eran más bien confusas. La distinción entre mezcla física y fases, soluciones y componentes se fue aclarando poco a poco, la Ley de difusión (Fick, 1855) fue basada en las observaciones de Thomas Graham sobre gases. [9]

6.4.3 Ley de Fick. Es una ley cuantitativa en forma de ecuación diferencial, describe diversos casos de difusión de materia en un medio en el que inicialmente no existe equilibrio químico o térmico Este flujo irá en el sentido opuesto del gradiente y si éste es débil, podrá aproximarse por el primer término de la serie de Taylor, resultando la ley de Fick.

Supongamos que su concentración varía con la posición a lo largo del eje X. Llamemos J a la densidad de corriente de partículas, es decir, al número efectivo de partículas que atraviesan en la unidad de tiempo un área unitaria perpendicular a la dirección en la que tiene lugar la difusión. La ley de Fick afirma que la densidad de corriente de partículas es proporcional al gradiente de concentración.

- **Primera ley de Fick**

Afirma que el flujo de difusión J es proporcional al negativo del gradiente de la concentración de materia

$$J = -D \frac{\partial n}{\partial x}$$

La constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de difusión D, el cual es expresado en m²/s es constante para algunas sustancias dadas a una temperatura determinada, característico tanto del soluto como del medio en el que se disuelve, y la relación en fraccionario viene siendo el gradiente de concentración de la sustancia

- **Segunda ley de Fick**

El flujo de difusión y el gradiente de concentración varían con el tiempo lo cual genera un agotamiento de las sustancias de difusión, se asume un transporte unidimensional, dado por:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial j}{\partial x} \quad \text{Ley de conservacion}$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{Ecuacion de difusion}$$

Esta ecuación incluye los efectos de los cambios de concentración en el tiempo. Puede ser resuelta usando las condiciones de borde de que para un tiempo cero inicial, se tiene una concentración inicial C_0 en la superficie, y una concentración $C = 0$ en el concreto y que para un tiempo infinito o lo bastante grande como para que no se observen cambios aparentes, la concentración en el concreto siempre será 0 a una distancia suficientemente alejada de la superficie. De esta forma, es posible modelar el comportamiento de un concreto en contacto con ambientes agresivos, con alto contenido de cloruros. [9]

6.4.4. Difusión en concretos. Los cloruros son iones agresivos cuando están en contacto con la superficie del concreto penetran a través del concreto hasta que se alcance un estado de equilibrio de la concentración de iones Si la concentración de los iones en la superficie es alta, la difusión puede resultar en concentraciones que induzcan la corrosión del refuerzo. Cuanto menor es la relación agua-materiales cementantes, menor es el coeficiente de difusión para un determinado conjunto de materiales. Los materiales cementantes suplementarios, principalmente el humo de sílice, reduce aún más el coeficiente de difusión. Los valores típicos de difusión del concreto de altura durabilidad son: [10]

Tabla 4. Valores típicos de difusión.

TIPO DEL CONCRETO	COEFICIENTE DE DIFUSIÓN
Mezcla con cemento portland, ceniza volante y humo de sílice	1000 x m ² /s
Mezcla con cemento portland y ceniza volante	1600 x - m ² /s

Fuente: Kosmatka, Diseño y control de mezclas de Concreto 2004

$$\frac{\partial C}{\partial t} = Da \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Cuya solución analítica asumiendo $C(x,0)=0$, $C(0,t)=C_s$ coeficiente de difusión (D) constante es (Byung and Yup,07):

$$C_x = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_a t}} \right) \right]$$

Donde da es el coeficiente de difusión aparente y se determina como el mejor ajuste a la curva dada por la ecuación (2) para el perfil de cloruros medido.

La variación en el contenido de cloruros se ha asociado a la relación agua/cemento, al tipo de agregados o materiales cementantes, cuya reducción implica un mayor tiempo para el inicio de corrosión, sin embargo, su relación con el ambiente a largo plazo ha sido estudiado por pocos investigadores y se han asociado bajas concentraciones de cloruro en la superficie del concreto a los ciclos de humedecimiento y secado en ambientes marinos. [25]

6.5 RELACIÓN AGUA CEMENTO

El agua es un componente de los más importantes en la creación del concreto ya que la relación agua/cemento modifica las propiedades del compuesto final que se obtendrá, a mayor cantidad de agua agregada mayor será la fluidez, aumentando su trabajabilidad y plasticidad, facilitando su aplicación en obra, pero sucede que a mayor cantidad de agua menor resistencia de la mezcla ya que el agua aumenta el volumen de los espacios en la siguiente tabla se muestra la relación agua cemento en la resistencia del cemento. [11]

Tabla 5. Relación agua cemento con la resistencia

A/C	f'c (kg/cm ²)
0,36	420
0,40	370
0,45	340
0,50	295
0,55	275
0,60	230
0,65	220
0,70	185
0,75	165
0,80	140

Fuente: Guevara Fallas, Efecto de la variación agua/cemento en el concreto 2012

Uno de los indicadores para conocer la calidad del concreto a compresión o flexión es la resistencia sin desestimar otros tan importantes como lo son la durabilidad la permeabilidad y la resistencia al desgaste, que su estudio resulta fundamental para estimar la vida útil de la estructura. [28]

La resistencia del concreto depende de su calidad y cantidad de componentes reactivos, del grado de hidratación, siempre y cuando la temperatura y humedad sean las adecuadas, su resistencia aumenta con el paso del tiempo, además de un curado adecuado y controlado.

La diferencia en la resistencia del concreto para una dada relación agua cemento puede resultar de: [27]

- Granulometría, textura superficial, forma, Resistencia y rigidez del agregado, diferencias en los tipos y fuentes de material cementante.
- Contenido de aire incorporado
- La presencia de aditivos y duración del curado.

Un mal curado puede llegar a ocasionar una pérdida de resistencia del 30% por lo cual es recomendable que se efectúe por 28 días, de los cuales a los 7 días se obtiene una resistencia del 70% y a los 14 del 85%.

La pasta con mayor contenido de agua tendrá un mayor volumen de espacio disponible, la mezcla con mayor volumen de huecos capilares que se atraen entre si y crean la porosidad, estos poros ocasionan unas quebraduras finas que debilitan el concreto y permiten el pasaje lento del agua y agentes químicos la porosidad determina las cantidades que penetran en la masa y causan destrucción más aún si están expuestas a cloruros, por ende es tan importante tener un buen concreto para evitar la migración de cloruros, por lo cual se recomienda que el concreto cumpla con los requisitos requeridos de calidad entre más denso sea el concreto más apretados serán los poros y menor será el paso de agua y de cloruros. [21]

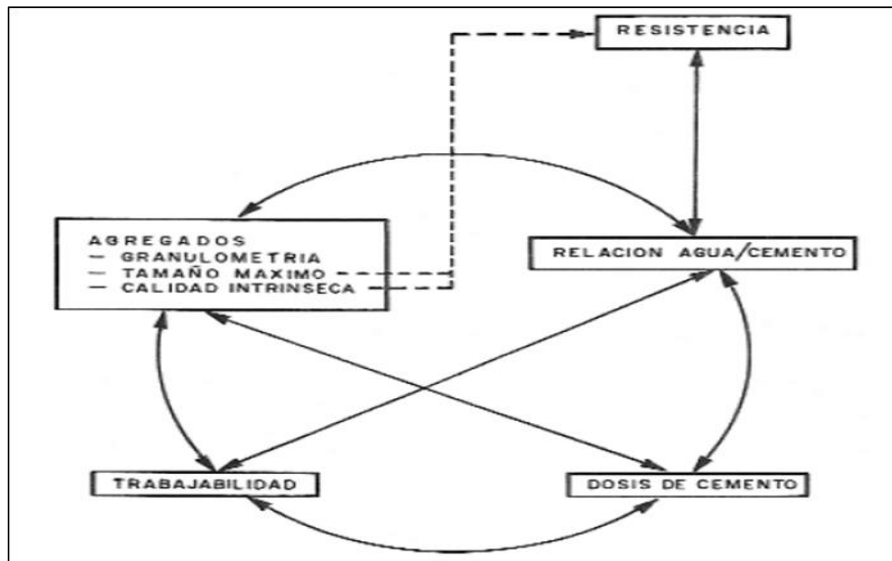
Los índices de penetración se relacionan directamente con la permeabilidad del concreto que a su vez depende de la forma de distribución de la porosidad en la mezcla que se relaciona con la reacción del cemento, las mezclas minerales y las partículas de agregados, relaciona agua –sólidos y curado.

Se recomienda la norma ASTM C-642-97 para averiguar la indicación de la porosidad del concreto.

- Según AC-318S-05, la resistencia mínima del concreto no puede ser menor a 173 kg/cm².
- El Código Sísmico de Costa Rica 2002 indica que debe ser de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Según la norma ACI 211.1 del Instituto Americano del Concreto, existe un método formal para el diseño de las mezclas de concreto [11]

6.5.1 Esquema general de relaciones. En el siguiente esquema se muestran las principales relaciones y permite visualizar cuales características del concreto se modifican al variar sus componentes o proporciones.

Figura 8 Esquema simplificado de las variables que influyen en el concreto



Fuente: Citra Kunia putri dan trisna insan Noor, 2013

6.6 PROPIEDADES DEL CONCRETO

El concreto es el material más usado en la construcción en la actualidad debido a sus múltiples beneficios entre los factores que hacen del concreto un material de construcción universal, las características del concreto pueden llegar a variar mediante el control y proporción de sus componentes o ingredientes, entre los más destacados se encuentran la trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad, entre otros Trabajabilidad. [26] Es la facilidad de colocación, acabado y consolidación del concreto fresco y su resistencia a la separación de sus compuestos, además de que tan fácil se pueden mezclar sus ingredientes que tan practico resulta para manejarse, transportarse y aplicarse en obra con la más mínima perdida de homogeneidad, actualmente se emplean concretos avanzados de última tecnología que además de altas resistencias a la compresión también

ofrece resistencias a la flexo tracción con una excelente manejabilidad que rompe la barrera de los concretos convencionales. [22]

6.6.1. Durabilidad. La capacidad que tiene el concreto de resistir a la intemperie o acción del ambiente también, abrasión agentes químicos impactos y desgastes a los que va estar sometido manteniendo sus propiedades donde interviene factores como la colocación y curado que determinan la vida útil del concreto.

6.6.2. Impermeabilidad. Capacidad que posee el material o la mezcla de evitar el paso penetración o absorción de líquidos lo contrario de los materiales permeables o porosos, se mejoran controlando la cantidad de agua al reducirla. [23]

6.6.3. Resistencia. Es el control que se le hace a una muestra para evaluar su calidad y capacidad de soportar una carga por unidad de área se determina ensayos de mecánicos de compresión o tracción, se busca que sea un material denso capaz de soportar la penetración de líquidos, cambios de temperatura y desgastes por la intemperie a la que se encuentre expuesta. [20]

6.6.4. Cohesividad. Garantiza la unión de las partículas que dependen de la calidad del concreto que mitiga la segregación de la muestra la cohesividad aumenta con el control del agua y con el uso de componentes finos en la elaboración de la mezcla. [24]

6.7 VENTAJAS DEL CONCRETO

- Alta resistencia a la compactación
- Resistente al efecto del agua
- Es un material altamente resistente al fuego, ya que solo recibe daño superficial y puede recubrir el acero.
- Tiene una larga vida útil y es un material que dura a lo largo del tiempo
- Se adapta a la forma que se de en los encofrados
- No requiere mano de obra especializada
- Es un material económico y de fácil acceso
- Es un material pesado y rígido por lo cual evita problemas de vibración.

6.8 DESVENTAJAS DEL CONCRETO

- El concreto a pesar de ser un material muy resistente tiene poca resistencia a la tracción por lo cual requiere combinarse con el acero, sin embargo es inevitable que se formen grietas,

- El concreto presenta dificultades para cubrir espacios amplios de luces debido a su peso propio por lo que requiere tener más apoyos a diferencia de las estructuras metálicas que son más eficientes ya que no proporcionan tanto peso propio
- Presenta deformaciones con el tiempo e cargas sostenidas las deflexiones aumentan con el paso del tiempo.
- A pesar de no necesitar mano de obra tan calificada requiere un control de calidad y supervisión en el proceso constructiva
- Requiere un encofrado que se debe mantener hasta que alcance la resistencia requerida para el desencofrado lo cual implica entre un tercio y dos tercios del costo total de la obra. [13]

6.9 INSPECCION EN LOS CONCRETOS

Para evaluar los deterioros en el concreto es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Realizar un examen visual.
- Realizar ensayos en laboratorios.

6.10 DETERIORO DEL CONCRETO

Se pueden clasificar los deterioros de la siguiente manera:

- De origen físico: corresponden a cambios volumétricos por cambios de humedad
- De origen biológico: material expuesto a organismos y microorganismos de origen vegetal o animal.
- De origen mecánico: hace referencia a distintos tipos de deformaciones, sobrecargas y vibraciones
- De origen químico: exposición a sustancias químicas agresivas. [14]

6.11 TIPOS DE DETERIORO DEL CONCRETO

- Agrietamiento
- Filtración
- Delimitación
- Escamado
- Desintegración
- Erosión
- Distorsión
- De laminación
- Eflorescencia

6.12 DAÑO POR ACCIONES QUIMICAS

Los deterioros ocasionados por acción química se difunden mediante el medio ambiente cuando entran en contacto con las sustancias reactivas del concreto ocasionan el deterioro del concreto con el tiempo.

6.12.1 Reacción con ácidos El concreto no presenta una alta resistencia frente al ataque de los ácidos el deterioro que ocasiona depende de la concentración y temperatura del ácido, los ácidos se pueden clasificar por su disolución como débiles o fuertes o por su naturaleza como orgánicos e inorgánicos.

Se considera un ácido débil si tiene un pH entre 5.5 a 6.5 pero cuando es menor a 5.5 es considerado como agresivo.

6.12.2 Ácidos: inorgánicos: El ácido reacciona con el hidróxido de calcio dando lugar a las sales solubles que ocasionan vacíos en la mezcla de concreto a continuación se presentan los ácidos inorgánicos más destacados:

Tabla 6. Tipos de ácidos inorgánicos

Tipos de ácido	Descripción
Ácido clorhídrico	Los iones cloruro que proceden de este ácido, son fácilmente lixiviables y solubles.
Ácido sulfhídrico	Este ácido en presencia de bacterias puede oxidarse a sulfúrico. Su reacción con el hidróxido de calcio origina sales lixiviables.
Ácido sulfúrico	Procede de la oxidación de ácido sulfhídrico. Es un ácido muy agresivo.
Ácido sulfuroso	Se forma por disolución acuosa del anhídrido sulfuroso. Sus efectos son similares a los del ácido sulfúrico y los sulfatos.
Ácido carbónico	Se forma por disolución acuosa del anhídrido carbónico presente en algunas combustiones. En presencia de aguas carbonatas pueden generar bicarbonatos solubles.
Ácido nítrico	Tiene un efecto muy perjudicial sobre el hormigón.
Ácido fosfórico	Este ácido reacciona con el hidróxido de calcio y forma una capa insoluble de fosfato que protege el hormigón.
Ácido fluorhídrico	Este ácido reacciona con el hidróxido de calcio dando lugar a fluoruro de calcio insoluble que cierra los poros. Este ácido en pequeñas cantidades protege el hormigón mientras que en grandes cantidades ataca la estructura.

Fuente: Escuela Técnica Superior, Influencia de la concentración de cloruros en agua del mar,” 2018.

6.12.3 Ácidos orgánicos: en la siguiente tabla se muestran los ácidos más destacados

Tabla 7. Tipos de ácidos orgánicos

Tipos de ácido	Descripción
Ácido acético	Es un ácido de fuerza moderada que puede reaccionar con el hidróxido de calcio para formar sales solubles.
Ácido láctico	Es un ácido moderadamente fuerte localizado en aguas residuales y que forma lactatos fácilmente lixiviables.
Ácido oxálico	Es un ácido fuerte que reacciona con la cal formando oxalato de cal. Este es insoluble, por lo que protege el hormigón cerrando los poros.
Ácido tánico	Es un ácido débil y poco agresivo
Ácido fórmico	Es un ácido con fuerza y características similares a las del ácido acético
Ácido húmico	Es un ácido débil que reacciona con el hidróxido de calcio y produce sales insolubles muy dañinas para el hormigón.

Fuente: Escuela Técnica Superior, Influencia de la concentración de cloruros en agua del mar,” 2018.

6.12.4 Sales orgánicas: estas son combinaciones químicas de tipo vegetal o animal que reaccionan con el hidróxido de calcio originando sales cálcicas de ácidos grasos, su penetración depende de la calidad del concreto en donde a mayor temperatura mal vulnerable será a la penetración.

6.12.5 Sales inorgánicas: se producen por la unión de un ácido base (catión) que reacciona con un hidróxido (anión) el grado de corrosión depende de factores como: tipo de cationes y aniones que tenga la sal, permeabilidad, tipo de cemento, temperatura., a continuación se presentan los aniones y cationes más comunes en las reacciones.

Tabla 8. Tipos de Aniones

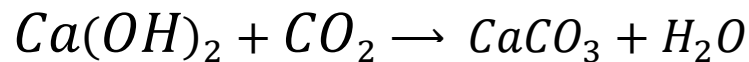
Tipos de aniones	Descripción
Sulfatos	La mayoría produce soluciones corrosivas, salvo el sulfato de bario y el de plomo.
Cloruros*	Su agresividad depende del elemento con el que estén unidos. La presencia de este anión puede acelerar o desencadenar la corrosión.
Nitratos	La mayoría se pueden considerar medianamente corrosivos, salvo el nitrato de amonio que incrementa su agresividad.
Sulfuros	Estos aniones atacan al hormigón ligeramente siempre y cuando no se produzca su oxidación a sulfato.
Carbonatos	La mayoría son sales insolubles, salvo las sales de álcalis o de amonio que incrementan su solubilidad.
Fosfatos	No producen daños en el hormigón, aunque se recomienda su protección frente a fosfatos ácidos.
Silicatos	Se utiliza el silicato de calcio como elemento de protección del hormigón.
Fluoruros	Se utiliza el fluoruro de calcio como elemento de protección del hormigón.

Fuente: Escuela Técnica Superior, "Influencia de la concentración de cloruros en agua del mar," 2018.

6.12.6 Reactividad Álcali-Agregado. Esta reactividad se origina cuando los minerales activos de algunos agregados reaccionan con los hidróxidos de álcalis en el concreto ocasionando un deterioro cuando se presenta una expansión, generalmente se manifiestan en reacciones con agregados minerales de sílice, con una red de agrietamientos, daños y desplazamientos en distintas partes de la estructura, causa problemas de funcionalidad lo cual deja la estructura expuesta a deterioros de tipo congelamiento y sulfatos. [23]

Materiales cementantes como ceniza volante, escoria granulada de alto horno y humo sílice se emplean para controlar la reacción álcali-sílice.

6.12.7 Carbonatación. La carbonatación es un fenómeno en el cual el dióxido de carbono del aire penetra en el concreto y reacciona con los hidróxidos de calcio y forman un carbonato de calcio, la carbonatación disminuye el pH del concreto que cubre el refuerzo al disminuir el pH del concreto disminuye la protección del refuerzo contra la corrosión lo cual afecta directamente la durabilidad.



6.12.8 Resistencia química. El concreto esta propenso a ataques químicos, a pesar de ser un material muy resistente sufre deterioros en su estructura sobre todo al ataque de ácido, el efecto del sulfato y los cloruros, por lo cual es recomendable aplicar un concreto de alta calidad y baja permeabilidad con una superficie tratada para prevenir que los cloruros entren en contacto con el concreto.

6.12.9 Sulfatos y cristaliza con de sales. Los sulfatos como el sulfato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de sulfatos al reaccionar con la mezcla forman estringtonita, ettringita y brucita la cual forma minerales de fibras cristalizadas que deterioran el concreto, bajan la solución del pH en la solución de los poros tiende a reducir la permeabilidad y provocan expansiones haciéndolos más vulnerables a deterioros [29]

Cuando la tasa de migración de sal a través de los poros es menor que la tasa de evaporación crea una cristalización debajo de la superficie causa expansión y descascaramiento

Se conoce que los concretos elaborados con cementos resistentes a los sulfatos sufren el mismo deterioro, pero suelen demorarse más que el concreto

convencional concretos adición de ceniza volante, humo sílice o metacaolin no mejoran su comportamiento del todo,

6.12.10 Recomendaciones contra el ataque de sulfatos. Utilizar concretos con baja relación agua material cementante (A/C aproximadamente de 0.4 ver tabla 5)

Emplear cementos especiales para ambientes con sulfatos como: C 595 (AASHTO M 240) cementos con moderada resistencia a los sulfatos, ASTM C 150, (AASHTO M 85) cementos tipo II y tipo V, o C 1157 tipos MS o HS. Fuente: [10]

6.12.11 Resistencia a los cloruros y corrosión de la armadura. El concreto protege al acero con su alta alcalinidad que se encuentra en el rango de 12 a 13 que forma una capa protectora ante el efecto de la corrosión, a pesar de que esta capa protectora es muy resistente presenta deterioro al estar expuesta al ataque de los cloruros y el agua del mar, cuando se llega al límite de corrosión (0.15% de cloruro soluble por peso de cemento) una regiones del refuerzo actúan como ánodos y descarga una corriente en la célula eléctrica, se forman hidróxidos en las áreas que reciben corriente y actúan como cátodos y se produce hidróxido de hierro que forma un óxido producto de la oxidación del refuerzo que se expande hasta cuatro veces su volumen original, este fenómeno trae consecuencias graves como tensiones descascamientos del concreto sobre el acero perdiendo su homogeneidad, y trae problemas de durabilidad. [10]

6.12.12. Como mitigar problema de corrosión.

- Emplear concretos de baja permeabilidad
- Aplicar tratamientos en la superficie que lo protejan
- Un mayor recubrimiento
- Emplear inhibidores de corrosión
- Materiales con sílice amorfa y componentes de alúmina

6.12.13 Evaluación de las propiedades de durabilidad del concreto

Cuando el concreto se encuentra expuesto a los agentes químicos se deterioró dejándolo vulnerable a la penetración de cloruros que producen la corrosión de acero y generan pérdida de propiedades del concreto como sucede con la permeabilidad del concreto, cuando sucede este fenómeno se pierde la capacidad que tiene el concreto de que los cloruros penetren en la estructura, por lo cual es necesario que se diseñe con concretos bajo criterios de durabilidad la cual la define la norma técnica colombiana NTC 5551 de la siguiente manera [15]

”La durabilidad de una estructura de concreto reforzado es la capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas o químicas o a la combinación de ambas y así proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el concreto, durante su vida útil total“¹

La norma técnica colombiana NTC 5551 nos permite evaluar el tipo de agresión, el grado de exposición y requerimiento mínimo necesario que necesita el concreto, todo lo relacionado con la durabilidad del concreto expuesto a distintos ambientes con el fin de garantizar una adecuada vida útil de la estructura.

A continuación se presentan los valores límites de las características químicas del ambiente que tienen consecuencias en la durabilidad del concreto

Tabla 9. Clasificación de la agresividad química

Tipo de medio	Parámetros	Subclase		
		6,1	6,2	6,3
		Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
AGUA	Valor del Ph	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
AGUA	CO ₂ disuelto (mg/L)	15 - 40	40 - 100	> 100
AGUA	IÓN AMONIO, NH ₄ ⁺ (mg/L)	15 - 30	30 - 60	> 60
AGUA	IÓN MAGNESIO Mg ²⁺ (mg/L)	300 - 1 000	1 000 - 3 000	> 3 000
AGUA	IÓN SULFATO SO ₄ ²⁻ (mg/L)	200 - 600	600 - 3 000	> 3 000
AGUA	RESIDUO SECO (mg/L)	75 - 150	50 - 75	< 50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY	> 20		
SUELO	IÓN SULFATO SO ₄ ²⁻ (mg/kg de suelo seco)	2 000 - 3 000	3 000 - 12 000	> 12 000
EJEMPLOS		Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas.	Estructuras marinas, instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media.	Instalaciones de tratamiento de agua con sustancias de agresividad media e instalaciones industriales con sustancias fuertemente agresivas.

Fuente NTC 5551 Durabilidad de Estructuras en Concreto

¹ Norma técnica colombiana NTC 5551 - Durabilidad Del Concreto

Tabla 10. Tipo de proceso débil medio y fuerte

Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del ambiente de exposición	Ejemplos
6		Ataque químico		
	6,1	Débil	Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del concreto con velocidad lenta. Véase la Tabla 2.	Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas de acuerdo con la Tabla 2, construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según la Tabla 2
	6,2	Medio	Elementos en contacto con el agua de mar. Elementos situados en ambiente con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar alteración del concreto con velocidad media, de acuerdo con la Tabla 2.	Estructuras marinas en general. Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media.
	6,3	Fuerte	Elementos expuestos a fuertes alteraciones del concreto. Véase Tabla 2.	Instalaciones industriales con sustancias de alta agresividad, de acuerdo con la Tabla 2. Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales.

Fuente NTC 5551 Durabilidad de Estructuras en Concreto

Para prevenir la penetración de agentes químicos en el concreto que ocasionen deterioros en el refuerzo de la estructura es necesario hacer un control de fisuras que garanticen su durabilidad basándonos en la siguiente tabla

Tabla 11. Valores máximos de separación de fisuras

Tipo de Ambiente	1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3	5,1	6,1	6,2	6,3	7
Separación máxima de fisuras (mm)	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6

Fuente NTC 5551 Durabilidad de Estructuras en Concreto

Para garantizar la durabilidad adecuada se deben llevar a cabo un control mediante ensayos y pruebas que evalúen el deterioro de las muestras gracias a las nuevas tecnologías, avances, e investigación que se han venido realizando sobre el ataque de los agentes químicos se han ido mejorando los parámetros involucrados en el proceso respecto a la durabilidad, teniendo en cuenta el ambiente al que serán expuestas las estructuras se deberán aplicar pruebas que evalúen su desempeño.

Se deben contemplar factores tan importantes como lo son la relación agua cemento, resistencia, porosidad, entre otras ya mencionadas, además de ensayos que permitan garantizar su desempeño según su ambiente de exposición, se deben realizar ensayos relacionados con:

- Coeficiente de Difusión de Cloruros
- Expansión por Sulfatos
- Carbonatación
- Resistencia a la Penetración de Cloruros
- Permeabilidad al Agua
- Reacción Álcali – Sílice

Para obtener una estructura durable se necesita un concreto diseñado con los siguientes parámetros de durabilidad

- Caracterización de materiales cementantes suplementarios
- Caracterización de agregados: Petrografía – Mineralogía
- Validación, verificación de diseños de mezclas
- Caracterización y evaluación de las mezclas
- Ensayos complementarios como: Reología, ensayos de permeabilidad, estabilidad y migración de iones de cloruro

6.13 ENSAYOS DE MIGRACIÓN

Para evaluar la penetración de los cloruros en el concreto se empleaban ensayos por el método de difusión que aunque sus resultados eran efectivos demoraban mucho ya que no empleaban ninguna fuerza externa para acelerar la migración, en la actualidad haciendo uso de la tecnología e investigación se llegó a métodos más eficaces, fáciles, económicos, y con resultados casi inmediatos, aproximadamente de una hora conocidos como ensayos de migración.

Los ensayo de migración consisten en introducir artificialmente iones en la solución por medio de un potencial eléctrico, el campo eléctrico acelera el movimiento de los iones a través del concreto, creando una prueba de permeabilidad rápida a la penetración de los cloruros, que se emplea para evaluar la durabilidad de las estructuras en concreto.

Debido a su eficiencia y pronto resultados las pruebas de migración son las más empleadas en la actualidad, ya que permiten evaluar los diseños de mezclas, encontrar los materiales más adecuados, observar el comportamiento de sus propiedades para así modificarlos según se necesiten.

También son conocidos como ensayos rápidos de permeabilidad de cloruros Rapid Chloride Permeability Test (RCPT) o la prueba de coulomb los ensayos más representativos son el ASTM C1202 y el NT BUILD 492.

El ensayo NT BUILD 492 se basa en la obtención del coeficiente de difusión que evalúa la penetración, durabilidad y calidad de la muestra, mediante el uso de un campo eléctrico provienen de una fuente de energía que hace reaccionar los iones de cloruro, para así poder obtener un resultado donde se observe y se pueda medir la penetración del cloruro, se le aplica nitrato de plata para resaltar la zona de penetración.

En la actualidad el problema que más afecta a los concretos son los cloruros, para mitigar el problema es necesario realizar estudios y ensayos para caracterizar el material, las reparaciones en los concretos afectados por los cloruros ocasionan muchos costos y no son tan efectivos, por ende la necesidad de realizar pruebas mediante ensayos de penetración de cloruros entre el cual destaca el de migración del ion cloruro NT Build 492 el cual está adquiriendo mucha fuerza por su eficiencia y buenos resultados, el ensayo permite caracterizar parámetros asociados a la durabilidad de las estructuras de concretos reforzados.

Teniendo en cuenta que la universidad no cuenta con este ensayo, se desarrolló del montaje experimental Nord Test 492 para que la comunidad de la Universidad Católica de Colombia pueda implementar este ensayo en sus laboratorios educativos y evaluar las propiedades del concreto, esto fomentará el desarrollo de nuevos avances en el campo de la ingeniería basados en el estudio de deterioro en las estructuras y su vida útil.

6.14 MARCO CONCEPTUAL

6.14.1 Concreto. Mezcla de dos componentes, agregados y pasta, la pasta está compuesta por cemento portland y el agua, uno los agregados normalmente arena y grava que se dividen en dos grupos agregados finos y gruesos, la calidad del concreto depende de las propiedades de la pasta del agregado y de la unión entre los dos [10]

6.14.2 Curado. Proceso a través del cual se mantiene el concreto, mortero grout o revoque fresco en una condición húmeda a una temperatura favorable con el fin de mejorar sus propiedades, garantizar la hidratación y el endurecimiento satisfactorio del material [10]

6.14.3 Migración. El movimiento de los iones bajo la acción de un campo eléctrico externo [6]

6.14.4 Difusión. El movimiento de las moléculas o iones bajo un gradiente de concentración o, más estrictamente, potencial químico, a partir de una zona de alta concentración a una zona de baja concentración [6]

6.14.5 Coeficiente de difusión. Es un valor numérico obtenido de pruebas que depende de parámetros internos del material como, tipo de cemento temperatura, porosidad, condiciones de curado, tipo de cationes asociados a iones de cloruro[16].

6.14.6 Estanqueidad. Habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible [10]

6.14.7 Permeabilidad. Capacidad de un material de ser atravesado por sustancias como líquidos gases o iones sin alterar su estructura interna.[17]

6.14.8 Cloruro. Compuesto químico que contiene iones de cloruro tiene una gran capacidad para descomponerse en iones al estar inmerso en el agua siendo este uno de los mejores electrolitos. Los iones de cloruro promueven la corrosión del acero de refuerzo [10]

6.14.9 Corrosión. La corrosión corresponde al deterioro del metal por la reacción química electroquímica o electrolítica. [10]

6.14.10 Durabilidad. La capacidad que tiene el concreto, mortero, grout o revoque de cemento portland de resistir a la acción de las intemperies, ataques químicos, congelación, deshielo y abrasión. [10]

6.14.11 Electromigración. Es un fenómeno en el que los iones en solución y los coloides que tienen carga eléctrica se mueven a través del campo eléctrico con una velocidad proporcional al producto de la fuerza del campo eléctrico y la movilidad del ion o partícula [18]

6.14.12 Resistividad eléctrica Cuando los cloruros penetran en la capa pasivadora del refuerzo, éstos se combinan con los iones de hierro, formando un compuesto de cloruro de hierro soluble, el cual lleva el hierro para dentro del concreto para más tarde oxidarse

6.14.13 Ion. Partícula cargada eléctricamente al perder o ganar uno o más electrones.[16]

6.15 MARCO LEGAL

Para este proyecto se tuvieron en cuenta las siguientes normas, las cuales sirvieron de guía durante este proceso.

- **NT BUILD 492.** (Ensayo acelerado de migración de ion de cloruro)
- **NT BUILD 201 y NT BUILD 202.**
- **NT BUILD 443.** Procedure for the determination of penetration parameters for estimating the resistance against chloride penetration into hardened concrete or other cement-based materials.
- **NSR-10** (2010, marzo 19). Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. Bogotá D.C. Colombia. (AIS, 2010).
- **La NSR-10** (Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistente). En el Capítulo C.4 “Requisitos de Durabilidad” especifica algunos criterios que debe cumplir el diseño de mezclas de concreto.
- **NORMA ASTM C 1202** (Prueba rápida de resistencia del concreto a la penetración del cloruro).

- **AASHTO T259 NORTEST NY BUILD 443** (Ensayos de difusión transporte de iones) (AASHTO T259, 2012).
- **AASHTO T277.** Standard Method of Test for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.
- **ASTM C1585 – 13.** Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes.
- **La NTC 5551.** (Durabilidad de Estructuras de Concreto) que es complementaria a la NSR-10 y que tipifica los distintos tipos de agresión al concreto según el ambiente en que se encuentre (ej: cloruros de mar, carbonatación, etc.).
- **NTC 4483.** Ingeniería civil y arquitectura. concretos. métodos de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto.
- **NTC 121.** Especificación de desempeño para cemento hidráulico.
- **NTC 673.** Ensayo de resistencia

7 METODOLOGÍA

7.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

Se realizó una búsqueda detallada tanto en medios magnéticos como físicos en busca conceptos y especificaciones, relacionados con deterioro del concreto y ensayos rápidos de migración de iones de cloruro se tuvieron en cuenta los estudios y mejoras que se han realizado para poder seguir creciendo en la investigación, tendremos en cuenta toda información relacionada con el tema que provengan de documentos científicos; como artículos, publicaciones de empresas, tesis y libros entre las que usamos con frecuencias se encuentran la norma NT Build 492, NTC 5551. Publicaciones de Argos, tesis de la Universidades como la Gran Colombia, la Nacional y la Salle.

7.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS.

Se usaron muestras ya existentes elaboradas en la Universidad Católica de Colombia, ya que el propósito de la presente tesis consiste en la construcción y funcionamiento de del instrumento para el montaje, no en la elaboración de muestras. Sin embargo se tenían parámetros de las muestras obtenidas como resistencias, tiempos de curado, agregados y relación agua cemento, resultados obtenidos de los laboratorios de la universidad con las mismas muestras.

7.3 PREPARACIÓN Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

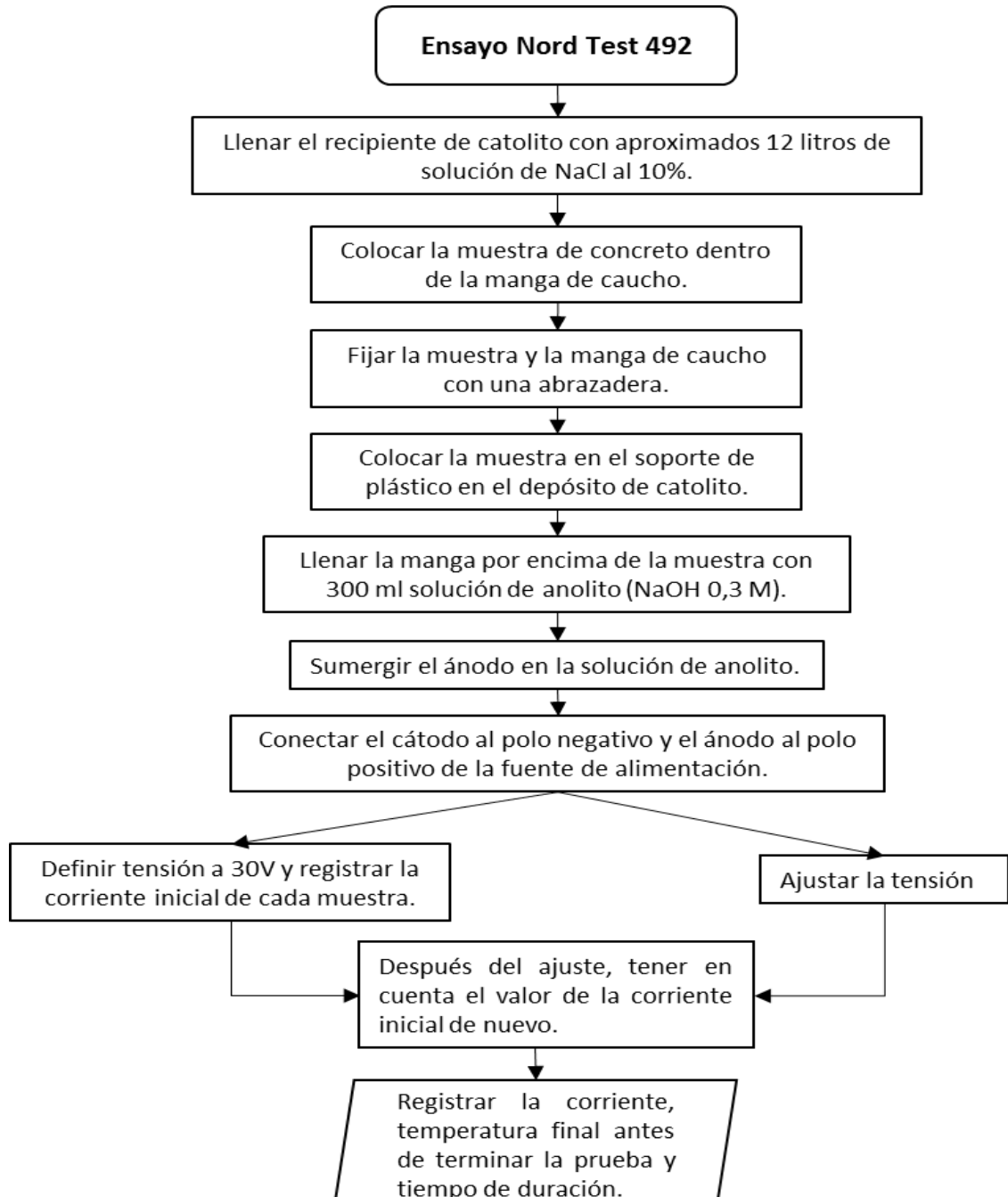
Se llevó a cabo la construcción del montaje experimental basándose en los modelos establecidos por las normas y con el fin de cumplir con todos los parámetros exigidos por las normas nacionales y obtener resultados que puedan ser comparados mediante estándares calificados, cada uno de los materiales usados en el ensayo fueron acondicionados en una zona libre de humedad y a una temperatura ambiente, de igual forma todos las máquinas, equipos y montajes, fueron calibrados previo al uso, para este proceso empleamos materiales que resistieron los ensayos y que cumplieron con las condiciones de seguridad, que fueron prácticos y fáciles de usar.

Los resultados de las primeras pruebas se compararon con las tablas de las normas, también con los ensayos realizados por otros autores con el fin de comprobar su eficiencia y calidad.

7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

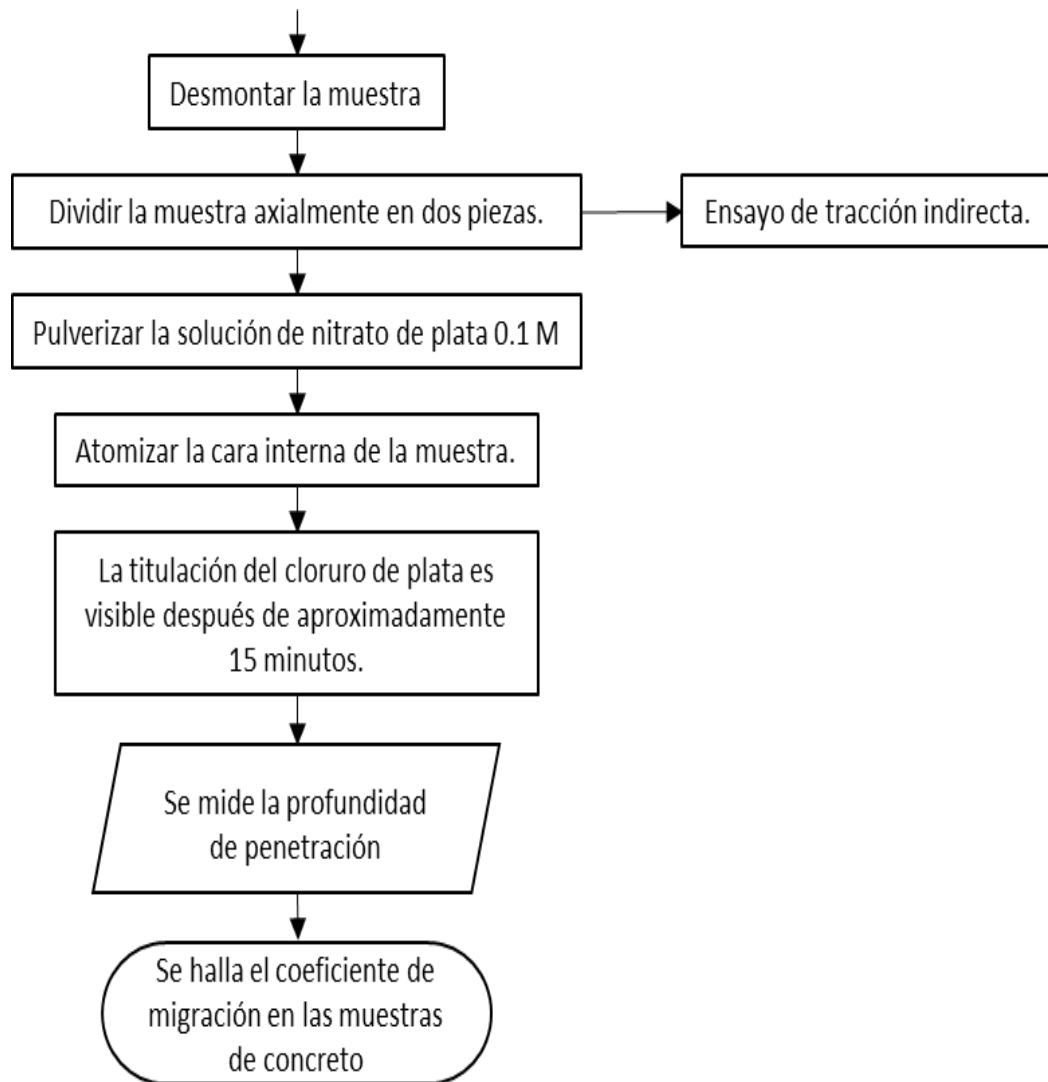
Se obtuvieron tablas de resultados de las pruebas, las cuales se relacionaron mediante distintos gráficos para determinar posibles errores y comprobar la eficiencia del montaje, además de determinar la penetración de los cloruros de sodio en los ensayos acelerados y el mejoramiento de los concreto.

Figura 9 Procedimiento ensayo NT Build 492



Fuente. Autores

Continuación figura 9 Procedimiento ensayo NT Build 492



Fuente: Autores

8 FUNDAMENTO DEL ENSAYO

El concreto nace de la necesidad de obtener un material lo suficientemente bueno para realizar todo tipo de construcciones que faciliten la calidad de nuestras vidas, al inicio se conoce que los primeros materiales de construcción se emplearon por la necesidad de vivir bajo un techo, empezó con chozas construidas fibras vegetales como hojas secas madera o paja y paredes en barro o rocas, impulsando el descubrimiento, la investigación y el desarrollo de los materiales de construcción, llegando hasta el día de hoy donde se ejecutan sorprendentes proyectos siempre en busca de una mejor calidad de vida, sin duda el concreto es el material insignia de la construcción y el que nos ha permitido construir estructuras de un gran tamaño, cada día más desafiantes, el concreto reforzado ha traído un desarrollo en la construcción gracias a sus propiedades, a pesar de ser reconocido como un material muy resistente y de gran duración en largos periodos de tiempo, presenta algunos problemas relacionados con agentes químicos del medio ambiente que debilitan sus propiedades, como por ejemplo permeabilidad y durabilidad. [20]

Los materiales naturales con el paso de tiempo y el desarrollo de nuevas tecnologías se han ido combinando y transformado para mejorar su calidad y cumplir las necesidades requeridas, para la elaboración del concreto se necesita el cemento que es producto de la calcinación de piedra caliza cocida conocida como (clinker) y posteriormente molida, el cemento se usa como conglomerante, la arena está compuesta por silicio (SiO_2),

- El cemento mezclado con arena forma el mortero,
- La grava se emplea normalmente canto rodado, el cemento mezclado con arena y grava forma el concreto,
- El concreto puede utilizarse solo o con refuerzo, además de algunos aditivos que mejoren sus propiedades. [20]

El concreto es el material más usado en la actualidad debido a sus múltiples beneficios ya mencionados anteriormente, uno de los principales inconvenientes que presenta el concreto en la penetración de iones de cloruro es la corrosión, que ocasiona afectaciones como la corrosión.

Existen métodos para advertir y subsanar las afectaciones por corrosión. Las destrezas para demorar el inicio de la corrosión se les llama “prevención”; los

métodos para mejorar la afectación generada por la corrosión se le llama “reparación” y la expresión que se usa para controlar y eliminar esta patología se le llama “Rehabilitación”. Para realizar un diagnóstico es necesario hacer una valoración minuciosa y así conocer el daño en la estructura. Hay dos procesos de valoración los cuales se interrelacionan uno a otro; a) Procedimiento Simplificado y b) Procedimiento Detallado. El uso de uno y otro depende de los alcances de la valoración, la investigación, el interés y el precio de la valoración.[19]

8.1 EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO (MS).

Se trata de formar un informe donde se evidencie la condición en la que está la estructura y las recomendaciones como también los ciclos de observación o estimaciones necesarias.

8.2 EL PROCEDIMIENTO DETALLADO (MD)

Es una valoración rigurosa de la estructura, teniendo en cuenta las afectaciones de la corrosión en los componentes concreto y acero.

Se realizan ensayos con potencial eléctrico, ya que la penetración del ion de cloruro es demasiado lenta sino se aplican fuerzas externas y pueden demorar entre 30 a 90 días, por eso el ensayo de migración del ion cloruro NT Build 492, permite agilizar este fenómeno y así determinar un coeficiente de difusión de cloruros de forma rápida y cuantitativa.

9 IMPLEMENTACIÓN DEL NORD TEST METHOD 492

Las muestras fueron sometidas a un proceso de curado de 28 días, tiempo en el que alcanza su madurez, obteniendo propiedades como durabilidad, resistencia e impermeabilidad, por lo tanto, son muestras óptimas para realizar el ensayo propuesto.

Para realizar el ensayo NT Build 492, se usaron probetas de 100 mm de diámetro y 50 mm de altura.

Figura 10. Muestras de Ceniza volante



Fuente: Autores

9.1 MONTAJE DE LAS MUESTRAS

El ensayo se realizó de manera simultánea con 12 muestras donde 4 muestras son de ceniza volante, 4 muestras con humo de sílice y 4 muestras con diferentes relaciones de agua-cemento, por lo cual a cada una se le hicieron varias repeticiones a diferentes concentraciones que serán explicadas en el capítulo 11, con dimensiones de 100mm de diámetro por 50mm. Cada uno de los discos se

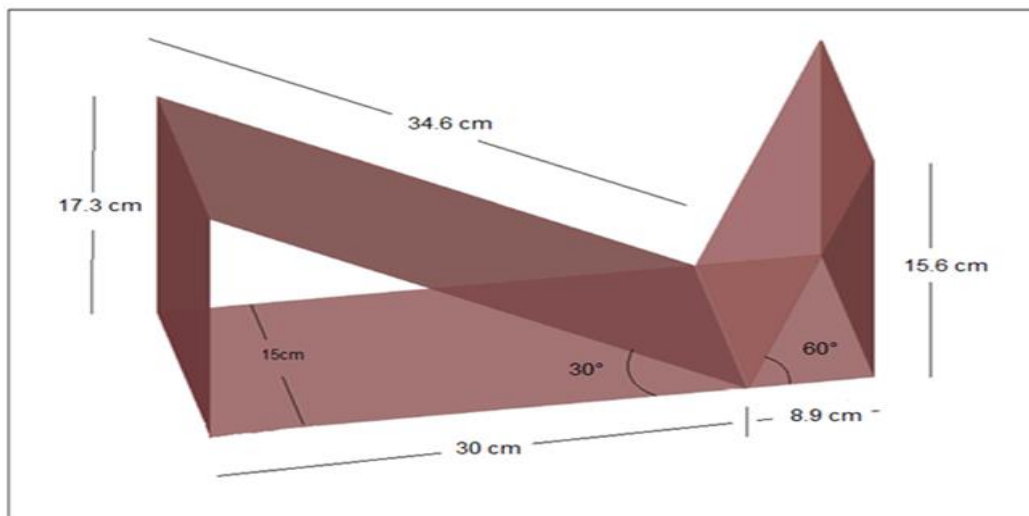
cubrió con una envoltura de caucho impermeable de 10cm de diámetro interno y 25cm de altura, la cual se ajusta mediante una abrazadera, como se especifica en la norma NT Build 492. La envoltura de caucho debe estar ajustada para evitar la filtración del anolito al catolito.

Figura 11. Envoltura de caucho



Fuente: Autores

Figura 12 Estructura de acrílico

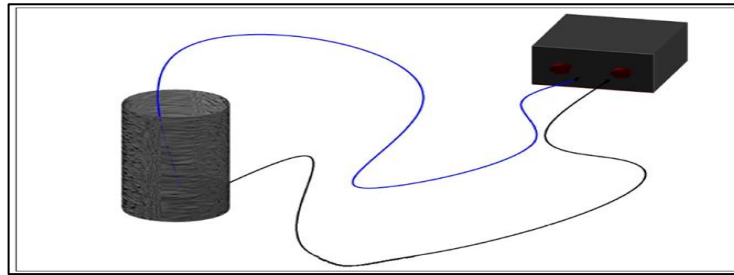


Fuente: Autores

9.2 CONEXIÓN

Los discos están conectados de tal forma que el voltaje en las muestras sea siempre el mismo. Por lo tanto, se implementó una fuente, que asegura un voltaje constante a cada muestra de manera simultánea.

Figura 13. Demostración conexión fuente de voltaje



Fuente: Autores

9.3 CALIBRACION DEL ENSAYO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL DIFERENCIAL DE POTENCIA 30V

Terminado el montaje, se aplica un diferencial de potencia de 30 voltios y se toma la corriente inicial, y se establece la duración y el diferencial de voltaje al que se someterán los discos como lo indica la NT Build 492.

Se realiza calibración del montaje con ensayo de la Universidad Nacional de Colombia, se hacen pruebas hasta obtener resultados parecidos. (Tabla1).

Figura 14. Montaje muestras de Ceniza volante

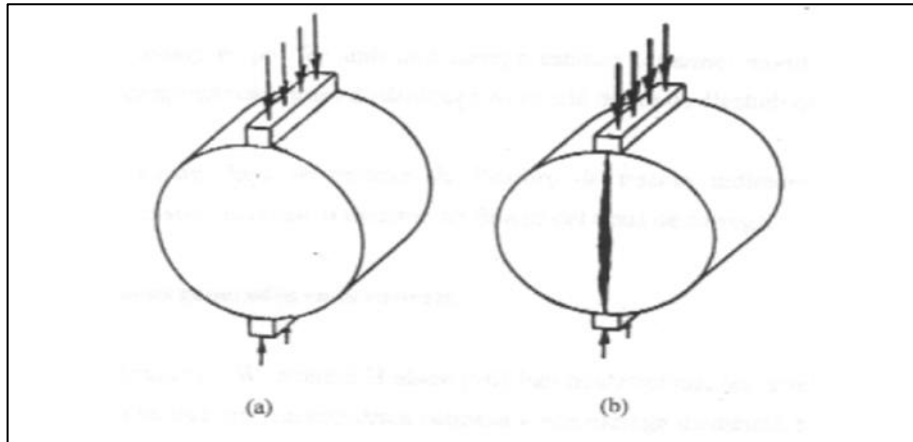


Fuente: Autores

9.4 TRACCIÓN DE LAS MUESTRAS

Durante 24 horas se termina el ensayo y se procede a realizar la tracción de las muestras con el propósito de fraccionar en dos muestras como se evidencia en la figura 15.

Figura 15 Ensayo de tracción indirecta



Fuente: (Garrote, 2016)

9.5 IDENTIFICACIÓN DE PENETRACIÓN

Luego de realizar la tracción las muestras, se procedió a rociar las caras internas con nitrato de plata a una concentración de 0.1M, por medio de un atomizador para certificar su uniformidad. Por lo tanto, la reacción del contacto del nitrato de plata con los iones de cloruro formó una capa violeta, que corresponde a la titulación del perfil de penetración de los iones de cloruro y asimismo permitiéndonos determinar y por consiguiente medir la evolución del mismo.

Cuando se establece el perfil de penetración del ion cloruro en el matriz cementante, se procedió a realizar la toma de medidas cada 10 mm a partir de los bordes, como lo sugiere la norma NT Build 492 en la figura #

Los resultados que fueron medidos son promediados, las mediciones como el valor de la penetración promedio, el voltaje aplicado, temperatura inicial y final, son parte de los datos que conforman el cálculo y análisis del coeficiente de migración de cloruros de cada concreto, mediante la fórmula entregada por la Norma:

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} \left(X_d - 0.238 \sqrt{\frac{(273+T)LX_d}{U-2}} \right)$$

Dónde:

- D_{nssm}:** Coeficiente de migración de estado no estacionario, 10⁻¹² m²/s.
U: Valor absoluto del voltaje aplicado (V).
T: Valor promedio de la temperatura inicial y final en la solución anódica.
L: Grosor de la probeta (mm).
X_d: Valor de la penetración promedio (mm).
t: Duración del test (horas).

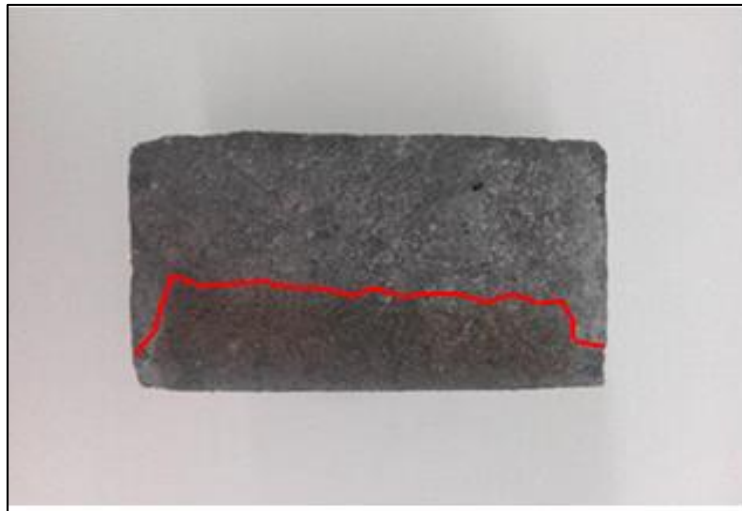
10 CALIBRACION ENSAYO NORDTEST BUILD 492

10.1 CALIBRACIÓN ENSAYO MUESTRAS CON CENIZA VOLANTE

Ya realizado el montaje experimental se empieza la calibración del ensayo, usando como guía el montaje NT Build 492 de la Universidad Nacional de Colombia

La primera muestra con la que se analizó principalmente el montaje fue con concreto de ceniza volante para evaluar el comportamiento en la migración de cloruros y así mismo, en cada ensayo se usó el cálculo del coeficiente de migración.

Figura 16. Representación del contraste de la penetración de cloruros reconocible por reacción con nitrato de plata.



Fuente: Autores

Luego de la obtención de los datos, se procede a calcular el coeficiente de migración de cloruros de las muestras de concreto, con ayuda de la ecuación de coeficiente de migración de estado no estacionario (D_{nssm}) que nos establece la norma.

Al realizar esta comparación, se recomienda repetir la prueba usando muestras de diferentes tipos de concretos, que den distintos resultados que permitan para analizar la tasa de permeabilidad a cloruros.

10.2 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON CENIZA VOLANTE

Comparación ensayo NT Build 492 (Universidad Católica de Colombia y Universidad Nacional).

Al realizar la verificación y comparación de los resultados obtenidos en los ensayos, se observa que no se evidencia una gran diferencia entre los dos ensayos.

Tabla 12. Resultados de ensayos Ceniza volante NT Build 492

RESULTADOS ENSAYO NORDTEST NT BUILD 492				
	0	0.1	0.2	0.3
PROMEDIO U.CATOLICA	15.58	15.11	14.26	13.80
PROMEDIO U.NACIONAL	15.44	14.70	14.23	13.78

Fuente: Autores

a) Porcentaje de concentración 0% Ceniza Volante

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|15.58 - 15.44|}{15.44} * 100 = 0.90\%$$

b) Porcentaje de concentración 10% Ceniza Volante

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|15.11 - 14.70|}{15.11} * 100 = 2.71\%$$

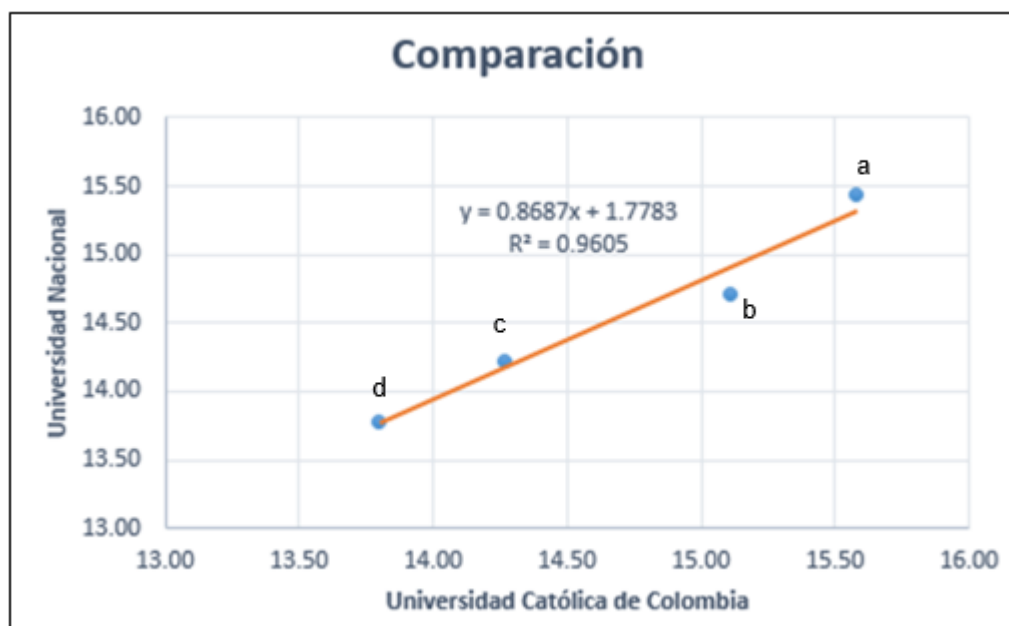
c) Porcentaje de concentración 20% Ceniza Volante

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|14.26 - 14.23|}{14.26} * 100 = 0.21\%$$

d) Porcentaje de concentración 30% Ceniza Volante

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|13.80 - 13.78|}{13.8} * 100 = 0.14\%$$

Gráfica 2. Comparación de valores de ensayos Nord Test 492 de ceniza volante



Fuente: Autores

10.3 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON HUMO SÍLICE

Comparación ensayo NT Build 492 (Universidad Católica de Colombia y Universidad Nacional)

Tabla 13. Resultados de ensayos Humo de Sílice Nord Test 492

RESULTADOS ENSAYO NORDTEST NT BUILD 492				
	0	0.05	0.1	0.15
PROMEDIO U.CATOLICA	15.58	14.16	13.52	12.74
PROMEDIO U.NACIONAL	15.44	14.14	13.51	12.95

Fuente: Autores

a) Porcentaje de concentración 0% Humo de Sílice

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|15.44 - 15.58|}{15.58} * 100 = 0.89\%$$

b) Porcentaje de concentración 5% Humo de Sílice

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|14.14 - 14.16|}{14.16} * 100 = 0.14\%$$

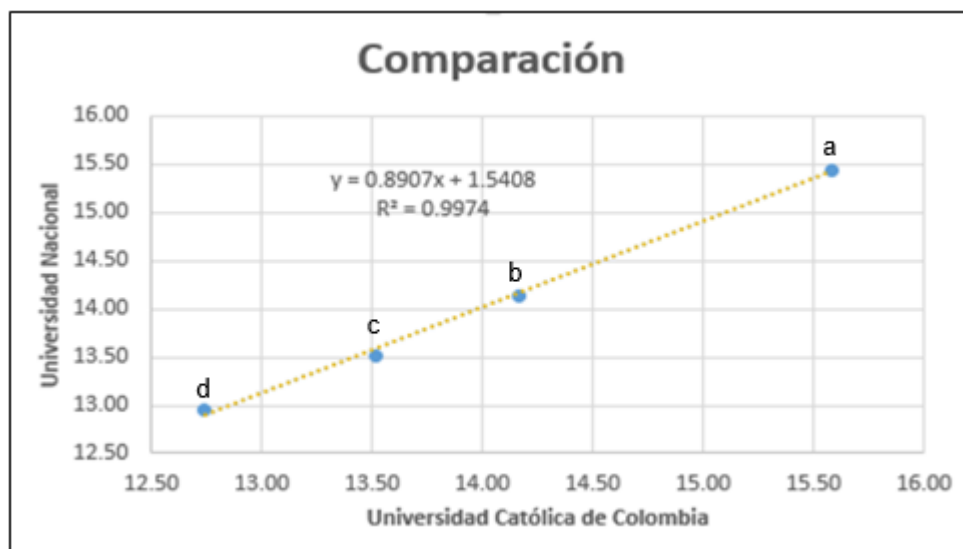
c) Porcentaje de concentración 10% Humo de Sílice

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|13.52 - 13.51|}{13.52} * 100 = 0.074\%$$

d) Porcentaje de concentración 15% Humo de Sílice

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|12.95 - 12.74|}{12.74} * 100 = 1.64\%$$

Gráfica 3. Comparación de valores de ensayos Nord Test 492 de humo de sílice



Fuente: Autores

10.4 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON DIFERENTES RELACIONES DE A/C

Comparación ensayo Nord test NT Build 492 (Universidad Católica de Colombia y Universidad Nacional)

Al realizar la verificación y comparación de los resultados obtenidos en los ensayos, se observa que no se evidencia una gran diferencia entre los dos ensayos.

Tabla 14. Resultados de ensayos Nord Test 492 con diferentes relaciones a/c

RESULTADOS ENSAYO NORDTEST NT BUILD 492				
	0.5	0.55	0.6	0.65
PROMEDIO U.CATOLICA	15.58	16.00	16.94	18.67
PROMEDIO U.NACIONAL	15.44	15.96	16.90	18.44

Fuente: Autores

a) Porcentaje de concentración 50% Diferentes relaciones de agua - cemento

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|15.58 - 15.44|}{15.44} * 100 = 0.90\%$$

b) Porcentaje de concentración 55% Diferentes relaciones de agua - cemento

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|16.00 - 15.96|}{16.00} * 100 = 0.25\%$$

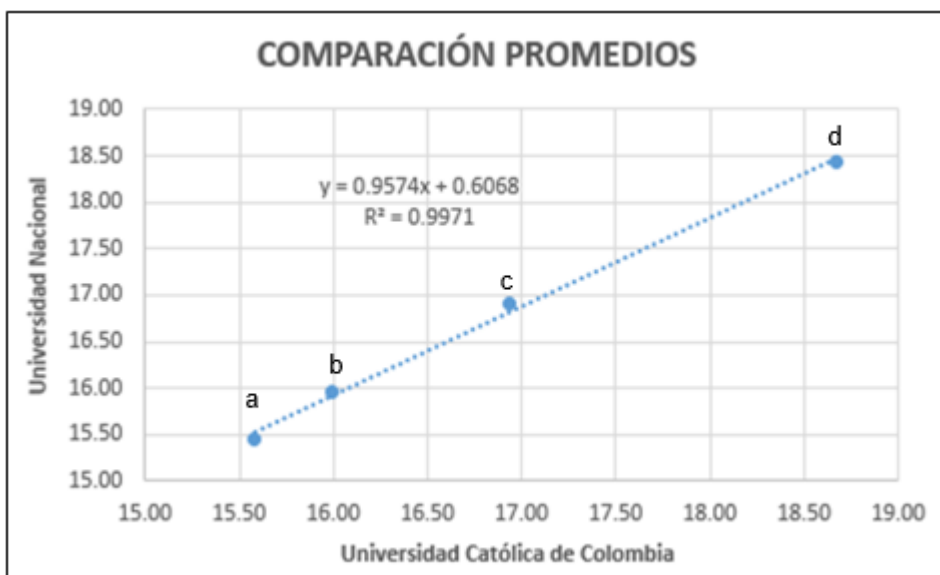
c) Porcentaje de concentración 60% Diferentes relaciones de agua - cemento

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|16.94 - 16.90|}{16.94} * 100 = 0.236\%$$

d) Porcentaje de concentración 60% Diferentes relaciones de agua - cemento

$$\%Error = \frac{|V.Real - V.experimental|}{V.experimental} * 100 = \frac{|18.67 - 18.44|}{18.67} * 100 = 1.23\%$$

Gráfica 4. Comparación de valores de ensayos Nord test 492 con diferentes reacciones a/c



Fuente: Autores

A partir de la gráfica anterior, se evidencia que los ensayos realizados en la Universidad Nacional de Colombia como en la Universidad Católica de Colombia, presentan la línea de tendencia muy similar, arrojando un porcentaje de error mínimo y que para este ensayo es aceptable.

11 RESULTADOS

11.1 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON CENIZA VOLANTE - RESULTADOS UNIVERSIDAD NACIONAL

Tabla 15. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas CV al 0%,10%, 20% y 30% en instalaciones de la universidad Nacional.

Ensayo NT Build-492. Concreto con ceniza volante. Universidad Nacional											
1	Muestra	0% CV	Muestra	10% CV	Muestra	20% CV	Muestra	30% CV			
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C			
	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm			
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V			
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr			
	x_d	32.6 mm	x_d	31.4 mm	x_d	30.7 mm	x_d	29.4 mm			
	D_{nssm}	$15.42 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$14.82 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$14.47 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$13.82 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$			
2	Muestra	0% CV	Muestra	10% CV	Muestra	20% CV	Muestra	30% CV			
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C			
	L	51 mm	L	50 mm	L	51 mm	L	50 mm			
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V			
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr			
	x_d	31.9 mm	x_d	30.90 mm	x_d	29.5 mm	x_d	29.3 mm			
	D_{nssm}	$15.35 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$14.57 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$14.14 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$13.78 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$			
3	Muestra	0% CV	Muestra	10% CV	Muestra	20% CV	Muestra	30% CV			
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C			
	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm			
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V			
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr			
	x_d	32.9 mm	x_d	31.20 mm	x_d	29.9 mm	x_d	29.2 mm			
	D_{nssm}	$15.57 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$14.72 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$14.07 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$13.73 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$			

Fuente: Autores

En la tabla anterior, se evidencia la recopilación de datos obtenidos, de acuerdo a los ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia, que corresponden a cada muestra ensayada. Se hace uso de estas variables para la obtención del coeficiente de migración.

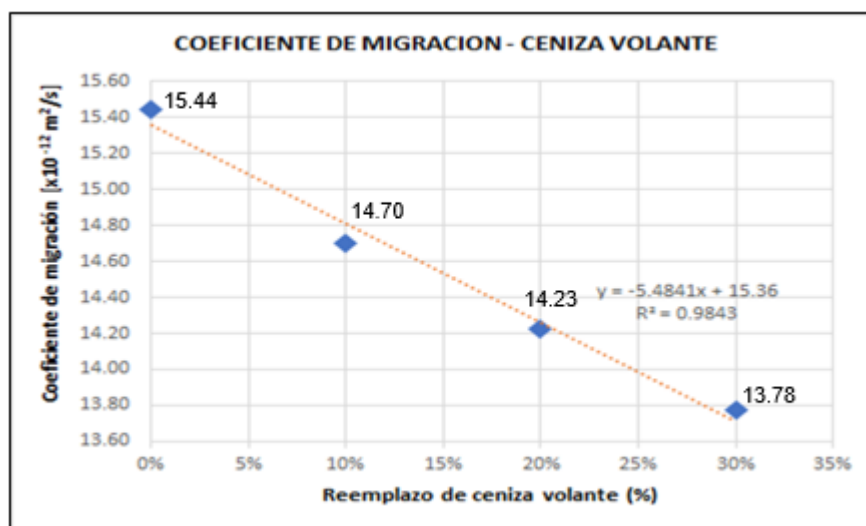
Tabla 16. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con ceniza volante – Universidad Nacional de Colombia

	0%	10%	20%	30%
MUESTRA 1	15.42	14.82	14.47	13.82
MUESTRA 2	15.35	14.57	14.14	13.78
MUESTRA 3	15.57	14.72	14.07	13.73
PROMEDIO	15.44	14.70	14.23	13.78
DESVIACION	0.1092	0.1251	0.2136	0.0496

Fuente: Autores

Como se evidencia en la tabla anterior, se usaron muestras con diferentes porcentajes de ceniza volante para realizar el ensayo y posteriormente se obtuvieron los promedios de la migración del ion cloruro en el concreto, con la finalidad de realizar la gráfica y analizar los datos.

Gráfica 5. Representación Coeficiente de migración de ceniza volante – Universidad Nacional de Colombia



Fuente: Autores

El fenómeno directo más nocivo por la acción de los cloruros en el concreto, es por la cristalización de las sales dentro de sus poros, la cual produce fisuras debido a la presión realizada por los cristales de sal.

A partir de la gráfica que corresponde a la representación del Coeficiente de migración de ceniza volante – Universidad Nacional de Colombia, se evidencia que el coeficiente de migración disminuye a medida que se aumenta el contenido de ceniza volante, aunque para la muestra de 10% se observa una pequeña variación con respecto a la muestra del 20%. La muestra que presentó una conducta favorable a la penetración de cloruros fue la de 30%.

11.2 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON CENIZA VOLANTE - RESULTADOS UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

Tabla 17. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas CV al 0%,10%, 20% y 30% en instalaciones de la Universidad Católica de Colombia.

Ensayo NT Build-492. Concreto con ceniza volante. Universidad Católica									
1	Muestra	0% CV	Muestra	10% CV	Muestra	20% CV	Muestra	30% CV	
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	
	L	49 mm	L	51 mm	L	50 mm	L	50 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x _d	33.6 mm	x _d	32.1 mm	x _d	31.1 mm	x _d	30.1 mm	
	D _{nom}	15.56 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	15.40 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	14.62 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	14.13 x10 ⁻¹² m ² /s	
2	Muestra	0% CV	Muestra	10% CV	Muestra	20% CV	Muestra	30% CV	
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	
	L	50 mm	L	51 mm	L	50 mm	L	51 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x _d	32.5 mm	x _d	30.90 mm	x _d	30.1 mm	x _d	28.3 mm	
	D _{nom}	15.32 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	14.80 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	14.13 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	13.49 x10 ⁻¹² m ² /s	
3	Muestra	0% CV	Muestra	10% CV	Muestra	20% CV	Muestra	30% CV	
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	
	L	50 mm	L	50 mm	L	51 mm	L	50 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x _d	33.6 mm	x _d	32.10 mm	x _d	29.4 mm	x _d	29.4 mm	
	D _{nom}	15.86 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	15.12 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	14.04 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nom}	13.78 x10 ⁻¹² m ² /s	

Fuente: Autores

En la tabla anterior, se evidencia la recopilación de datos obtenidos, de acuerdo a los ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia, que corresponden a cada muestra ensayada. Se hace uso de estas variables para la obtención del coeficiente de migración.

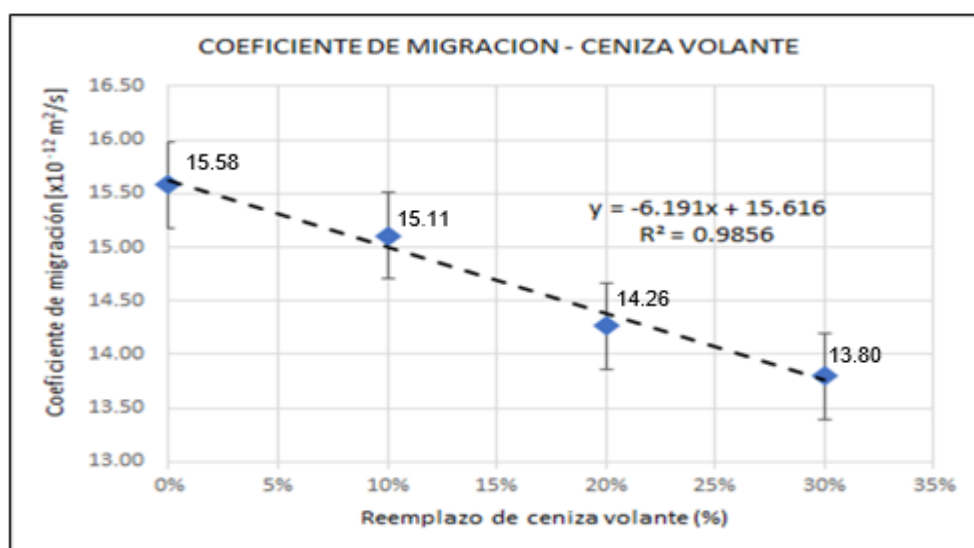
Tabla 18. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con ceniza volante – Universidad Católica de Colombia

	0%	10%	20%	30%
MUESTRA 1	15.56	15.40	14.62	14.13
MUESTRA 2	15.32	14.80	14.13	13.49
MUESTRA 3	15.86	15.12	14.04	13.78
PROMEDIO	15.58	15.11	14.26	13.80
DESVIACIÓN	0.273	0.303	0.314	0.321

Fuente: Autores

Como se evidencia en la tabla anterior, se usaron muestras con diferentes porcentajes de ceniza volante para realizar el ensayo y posteriormente se obtuvieron los promedios de la migración del ion cloruro en el concreto, con la finalidad de realizar la gráfica y analizar los datos.

Gráfica 6. Representación Coeficiente de migración de ceniza volante – Universidad Católica de Colombia



Fuente: Autores

De la gráfica anterior, se puede analizar que el coeficiente de migración es inversamente proporcional al porcentaje de adición de ceniza volante, lo que indica que entre mayor sea el contenido de ceniza volante el coeficiente de migración de la muestra va a ser menor.

También se puede observar que el coeficiente de migración disminuye a medida que se aumenta el contenido de ceniza volante, aunque para la muestra de 20% se observa una pequeña variación con respecto a la muestra del 30%. La muestra que presentó una conducta favorable a la penetración de cloruros fue la de 30%.

11.3 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON HUMO SÍLICE - RESULTADOS UNIVERSIDAD NACIONAL

Tabla 19. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas de concreto con humo sílice al 0%,5%, 10% y 15% en instalaciones de la Universidad Nacional.

Ensayo NT Build-492. Concreto con humo de sílice. Universidad Nacional									
1	Muestra	0% CV	Muestra	5% HS	Muestra	10% HS	Muestra	15% HS	
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	
	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x_d	32.6 mm	x_d	30.9 mm	x_d	29.2 mm	x_d	27.4 mm	
	D_{nsom}	$15.42 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$14.57 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$13.73 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$12.83 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	
2	Muestra	0% CV	Muestra	5% HS	Muestra	10% HS	Muestra	15% HS	
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	
	L	51 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x_d	31.9 mm	x_d	29.40 mm	x_d	28.7 mm	x_d	28.3 mm	
	D_{nsom}	$15.35 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$13.82 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$13.48 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$13.28 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	
3	Muestra	0% CV	Muestra	5% HS	Muestra	10% HS	Muestra	15% HS	
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	
	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x_d	32.9 mm	x_d	29.80 mm	x_d	28.4 mm	x_d	27.2 mm	
	D_{nsom}	$15.57 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$14.02 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$13.33 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nsom}	$12.73 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	

Fuente: Autores

En la tabla anterior, se evidencia la recopilación de datos obtenidos, de acuerdo a los ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia, que corresponden a cada muestra ensayada. Se hace uso de estas variables para la obtención del coeficiente de migración.

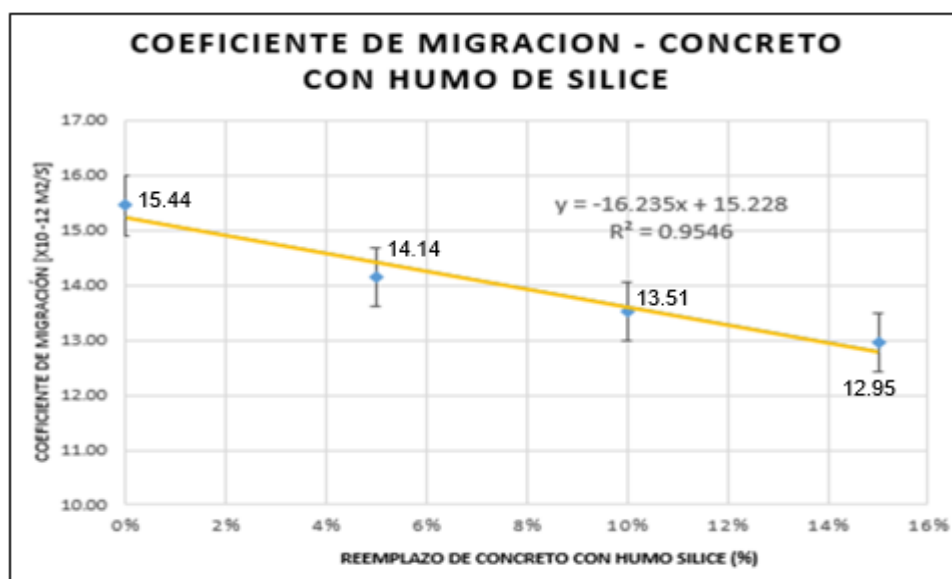
Tabla 20. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con humo de sílice – Universidad Nacional de Colombia

	0%	5%	10%	15%
MUESTRA 1	15.42	14.57	13.73	12.83
MUESTRA 2	15.35	13.82	13.48	13.28
MUESTRA 3	15.57	14.02	13.33	12.73
PROMEDIO	15.44	14.14	13.51	12.95
DESVIACIÓN	0.109	0.386	0.201	0.290

Fuente: Autores

En la Tabla No. 20, se hizo uso de muestras con diferentes porcentajes de humo de sílice para realizar el ensayo y posteriormente se obtuvieron los promedios de la migración del ion cloruro en el concreto, con el objetivo de realizar la gráfica y analizar los datos.

Gráfica 7. Representación Coeficiente de migración de humo de sílice – Universidad Nacional de Colombia



Fuente: Autores

De la gráfica anterior, se puede analizar que el coeficiente de migración es inversamente proporcional al porcentaje de adición de humo de sílice, lo que indica que entre mayor sea el contenido de humo de sílice el coeficiente de migración de la muestra va a ser menor.

La muestra que presentó una conducta favorable a la penetración de cloruros fue la de 15% de humo de sílice.

11.4 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON HUMO SÍLICE - RESULTADOS UNIVERSIDAD CATÓLICA

Tabla 21. . Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas de concreto con humo sílice al 0%,5%, 10% y 15% en instalaciones de la Universidad Católica de Colombia

Ensayo NT Build-492. Concreto con humo de sílice. Universidad Católica									
1	Muestra	0% CV	Muestra	5% HS	Muestra	10% HS	Muestra	15% HS	
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	
	L	49 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x_d	33.6 mm	x_d	29.5 mm	x_d	28.8 mm	x_d	26.9 mm	
	D_{nssm}	$15.56 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$13.83 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$13.48 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$12.54 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	
2	Muestra	0% CV	Muestra	5% HS	Muestra	10% HS	Muestra	15% HS	
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	
	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x_d	32.5 mm	x_d	30.10 mm	x_d	28.3 mm	x_d	27.6 mm	
	D_{nssm}	$15.32 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$14.13 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$13.24 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$12.89 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	
3	Muestra	0% CV	Muestra	5% HS	Muestra	10% HS	Muestra	15% HS	
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	
	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V	
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	
	x_d	33.6 mm	x_d	30.90 mm	x_d	29.5 mm	x_d	27.4 mm	
	D_{nssm}	$15.86 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$14.52 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$13.83 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	D_{nssm}	$12.79 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	

Fuente: Autores

En la tabla anterior, se evidencia la recopilación de datos obtenidos, de acuerdo a los ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia, que corresponden a cada muestra ensayada. Se hace uso de estas variables para la obtención del coeficiente de migración.

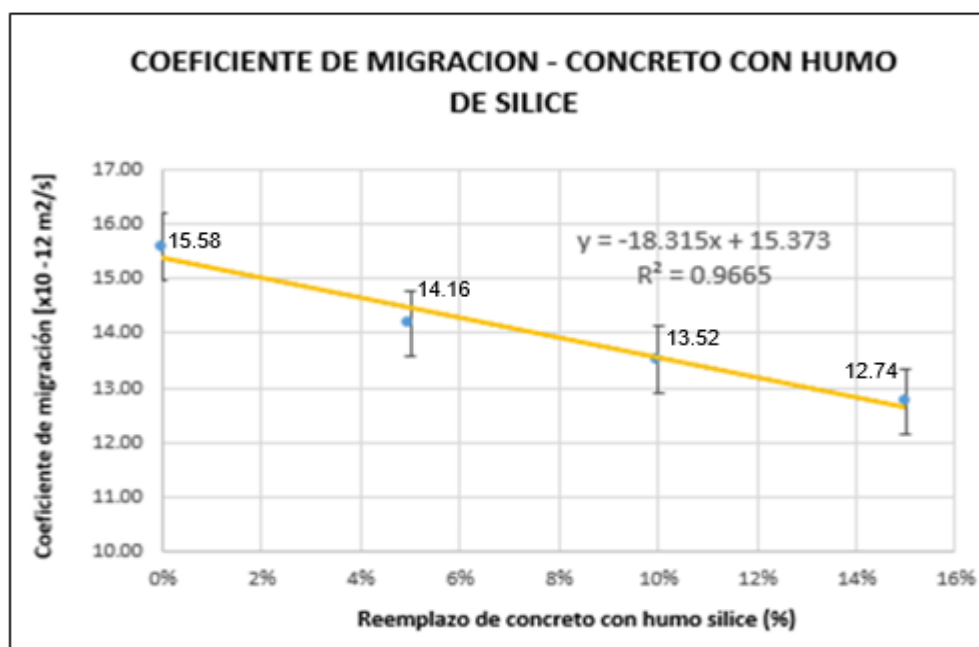
Tabla 22. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con humo de sílice – Universidad Católica de Colombia

	0%	5%	10%	15%
MUESTRA 1	15.56	13.83	13.48	12.54
MUESTRA 2	15.32	14.13	13.24	12.89
MUESTRA 3	15.86	14.52	13.83	12.79
PROMEDIO	15.58	14.16	13.52	12.74
DESVIACIÓN	0.273	0.348	0.298	0.178

Fuente: Autores

Como se evidencia en la tabla anterior, se usaron muestras con diferentes porcentajes de humo de sílice para realizar el ensayo y se obtuvieron los promedios de la migración del ion cloruro en el concreto con la finalidad de realizar la gráfica y estudiar los datos.

Gráfica 8. Representación Coeficiente de migración de humo de sílice – Universidad Católica de Colombia.



Fuente: Autores

A partir de la gráfica que corresponde a la representación del Coeficiente de migración de ceniza volante – Universidad Católica de Colombia, se evidencia

que el coeficiente de migración disminuye a medida que se aumenta el contenido de humo de sílice, aunque para la muestra de 5% se observa una pequeña variación con respecto a la muestra del 10%. La muestra que presentó una conducta favorable a la penetración de cloruros fue la de 15%.

11.5 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON DIFERENTES RELACIONES DE A/C - RESULTADOS UNIVERSIDAD NACIONAL

Tabla 23. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas de concreto con diferentes relaciones de a/c 50%,55%, 60% y 65% en instalaciones de la Universidad Nacional.

Ensayo NT Build-492. Concreto con diferentes relaciones a/c. Universidad Nacional												
1	Muestra	0.50	Muestra	0.55	Muestra	0.60	Muestra	0.65				
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C				
	L	50 mm	L	51 mm	L	50 mm	L	50 mm				
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V				
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr				
	x _d	32.6 mm	x _d	33.7 mm	x _d	35.9 mm	x _d	38.9 mm				
	D _{nssm}	15.42 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	16.27 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	17.06 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	18.56 x10 ⁻¹² m ² /s				
2	Muestra	0.50	Muestra	0.55	Muestra	0.60	Muestra	0.65				
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C				
	L	51 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	51 mm				
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V				
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr				
	x _d	31.9 mm	x _d	33.10 mm	x _d	35.3 mm	x _d	37.9 mm				
	D _{nssm}	15.35 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	15.66 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	16.76 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	18.40 x10 ⁻¹² m ² /s				
3	Muestra	0.50	Muestra	0.55	Muestra	0.60	Muestra	0.65				
	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C	T	21 °C				
	L	50 mm	L	50 mm	L	51 mm	L	50 mm				
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V				
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr				
	x _d	32.9 mm	x _d	33.70 mm	x _d	34.9 mm	x _d	38.5 mm				
	D _{nssm}	15.57 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	15.96 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	16.88 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	18.36 x10 ⁻¹² m ² /s				

Fuente: Autores

En la tabla anterior, se evidencia la recopilación de datos obtenidos, de acuerdo a los ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia, que corresponden a cada muestra ensayada. Se hace uso de estas variables para la obtención del coeficiente de migración.

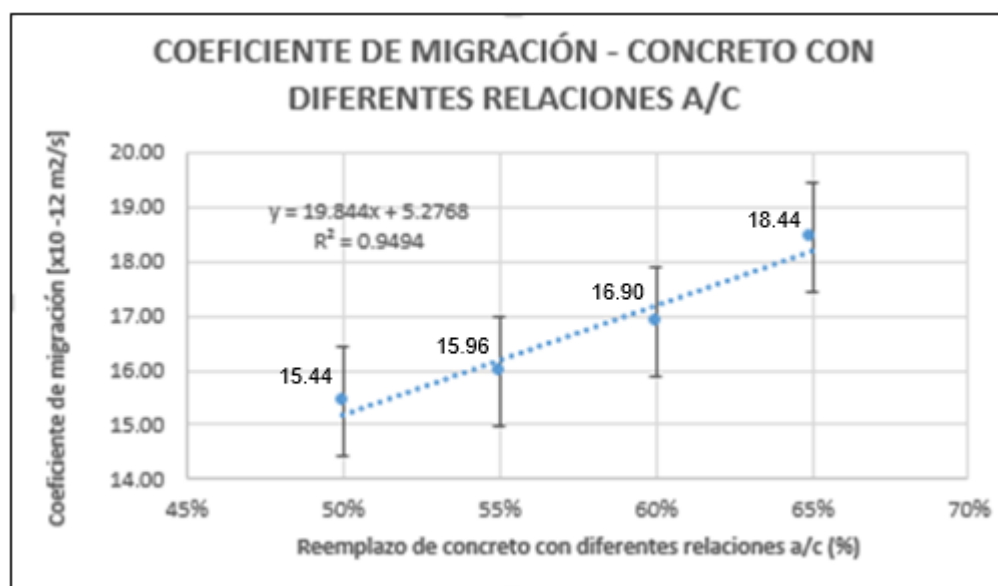
Tabla 24. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con diferentes relaciones de a/c – Universidad Nacional de Colombia

	0%	50%	60%	65%
MUESTRA 1	15.42	16.27	17.06	18.56
MUESTRA 2	15.35	15.66	16.76	18.40
MUESTRA 3	15.57	15.96	16.88	18.36
PROMEDIO	15.44	15.96	16.90	18.44
DESVIACIÓN	0.109	0.301	0.151	0.105

Fuente: Autores

Se realiza la recopilación de los datos que fueron obtenidos y que se usaron en las muestras con diferentes relaciones de agua/cemento para realizar el ensayo, a partir de esto se obtuvieron los promedios de la migración del ion cloruro en el concreto con la finalidad de realizar la gráfica y estudiar los datos.

Gráfica 9 Representación Coeficiente de migración de diferentes relaciones de a/c – Universidad Nacional de Colombia.



Fuente: Autores

De acuerdo a la representación gráfica No. 9, se considera que el coeficiente de migración es directamente proporcional al porcentaje de adición en diferentes relaciones de agua/cemento, lo que indica que entre mayor sea el contenido de agua/cemento el coeficiente de migración de la muestra también aumenta, lo cual indica una conducta desfavorable ante este fenómeno.

11.6 ENSAYO MUESTRAS DE CONCRETO CON DIFERENTES RELACIONES DE A/C - RESULTADOS UNIVERSIDAD CATLÓCA

Tabla 25. Ensayo de determinación del coeficiente de migración para la penetración de cloruros en probetas de concreto con diferentes relaciones de a/c al 50%,55%, 60% y 65% en instalaciones de la Universidad Católica de Colombia

Ensayo NT Build-492. Concreto con diferentes relaciones a/c. Universidad Católica												
1	Muestra	0.50	Muestra	0.55	Muestra	0.60	Muestra	0.65				
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C				
	L	49 mm	L	51 mm	L	50 mm	L	50 mm				
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V				
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr				
	x _d	33.6 mm	x _d	33.4 mm	x _d	35.4 mm	x _d	39.6 mm				
	D _{nssm}	15.56 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	16.06 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	16.76 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	18.85 x10 ⁻¹² m ² /s				
2	Muestra	0.50	Muestra	0.55	Muestra	0.60	Muestra	0.65				
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C				
	L	50 mm	L	50 mm	L	50 mm	L	51 mm				
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V				
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr				
	x _d	32.5 mm	x _d	33.10 mm	x _d	36.2 mm	x _d	39.3 mm				
	D _{nssm}	15.32 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	15.61 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	17.15 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	19.05 x10 ⁻¹² m ² /s				
3	Muestra	0.50	Muestra	0.55	Muestra	0.60	Muestra	0.65				
	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C	T	20 °C				
	L	50 mm	L	51 mm	L	50 mm	L	50 mm				
	U	30 V	U	30 V	U	30 V	U	30 V				
	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr	t	24 hr				
	x _d	33.6 mm	x _d	33.90 mm	x _d	35.7 mm	x _d	38.1 mm				
	D _{nssm}	15.86 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	16.32 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	16.91 x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	18.10 x10 ⁻¹² m ² /s				

Fuente: Autores

En la tabla anterior, se evidencia la recopilación de datos obtenidos, de acuerdo a los ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia, que corresponden a cada muestra ensayada. Se hace uso de estas variables para la obtención del coeficiente de migración.

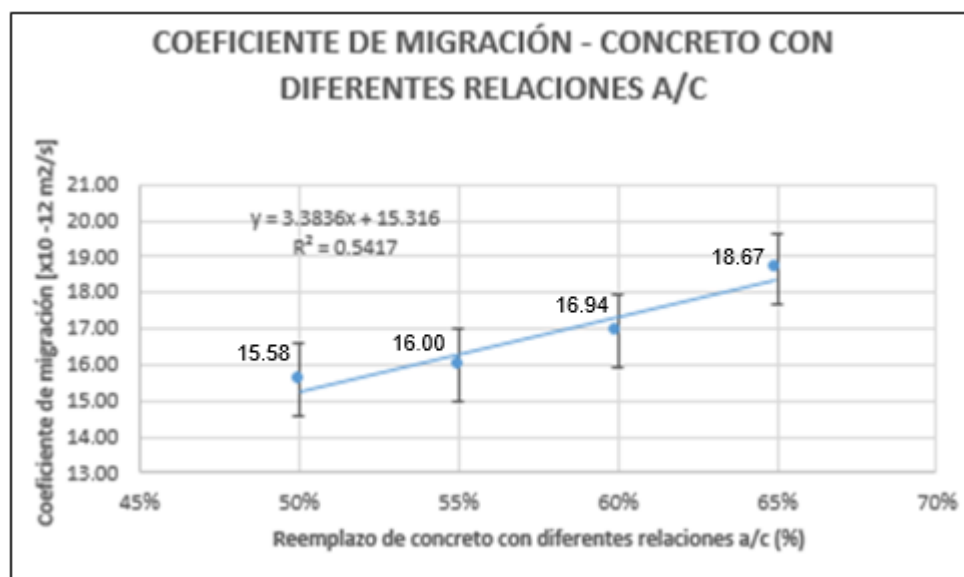
Tabla 26. Resultados coeficientes de migración en muestras de concreto con diferentes relaciones de a/c – Universidad Católica de Colombia

	50%	55%	60%	65%
MUESTRA 1	15.56	16.06	16.76	18.85
MUESTRA 2	15.32	15.61	17.15	19.05
MUESTRA 3	15.86	16.32	16.91	18.10
PROMEDIO	15.58	16.00	16.94	18.67
DESVIACIÓN	0.273	0.355	0.201	0.502

Fuente: Autores

La Tabla No. 26, posee la compilación de los resultados finales que fueron obtenidos y se usaron en las muestras con diferentes relaciones de agua/cemento, a partir de los promedios de la migración del ion cloruro en el concreto se realiza la gráfica para estudiar los datos.

Gráfica 10. Representación Coeficiente de migración de diferentes relaciones de a/c – Universidad Católica de Colombia.



Fuente: Autores

La gráfica No. 10 representa la tendencia que se obtiene al aumentar la relación de agua/cemento, lo que indica que entre mayor sea el contenido de agua/cemento el coeficiente de migración de la muestra también aumenta, lo cual indica una conducta desfavorable ante este fenómeno

12 ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de este estudio son obtenidos por cada montaje de laboratorio que expone la norma NT Build 492 que sirve para medir la migración del ion cloruro en estructuras de concreto, para este proceso se usó como referencia y punto de comparación el estudio de laboratorio elaborado en la infraestructura de la Universidad Nacional de Colombia, bajo la orientación e inspección del Ingeniero Héctor Camilo Higuera, estos datos obtenidos se confrontaron con los datos del ensayo elaborado, con la finalidad de confirmar y certificar la correcta calibración, tomando como guía la norma y los parámetros que se establecen.

De acuerdo a la representación gráfica de los datos obtenidos del ensayo de la Universidad Católica con respecto al de la Universidad Nacional, se evidencia que los resultados son muy parecidos, dando un coeficiente de determinación $R^2=0.9605$ (Ver en grafica No. 2), $R^2=0.9974$ (Ver en grafica No. 3) y $R^2=0.9971$ (Ver en grafica No. 4), lo cual indica que la relación lineal entre los valores es casi perfecta

A partir de la gráfica 6, se puede observar que el coeficiente de difusión se va disminuyendo a medida que se aumenta el porcentaje de ceniza volante, para la muestra del 10% y el 20% se evidencia una diminuta variación con respecto a la línea de tendencia y la muestra que manifestó el mejor comportamiento con respecto a la penetración de cloruros fue la de 30%.

De acuerdo a la gráfica 8, se puede observar que el ensayo que reveló el mejor comportamiento es el que tiene una concentración del 15% de humo de sílice, ya presenta un menor coeficiente de migración.

Según los resultados de la gráfica 10, se evidencia que a mayor relación de agua/cemento, disminuye la tasa de permeabilidad del concreto a los cloruros por lo cual se puede ver la efectividad del ensayo utilizado y esto traduce a que tiene una baja eficiencia en ambientes marítimos potencialmente agresivos.

El ensayo que presento los mejores resultados, es el de la muestra de concreto con humo sílice, ya que esta adición genera una mejora en la permeabilidad y a los valores de la migración del ion cloruro

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados conseguidos en el presente laboratorio se puede concluir que:

Arrancando como punto de partida la comparación de los resultados en cada uno de los ensayos realizados en la Universidad Nacional y la Universidad Católica Colombia, se puede establecer que el prototipo elaborado obtiene datos similares a los suministrados por el montaje de la universidad nacional, con esto se comprueba que su resultado está entre de los parámetros admisibles que garantizan la calibración y la funcionalidad del ensayo.

Se observa que el comportamiento de las muestras de concreto con humo de sílice, presentaron un menor porcentaje de error con respecto a los resultados de los otros ensayos de la migración de los iones cloruro que se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional y Universidad Católica de Colombia.

Ejecutando las instrucciones técnicas de la norma NT Build 492, referente a su diseño y ensamble, las demostraciones realizadas para el indicado funcionamiento de este prototipo, usado principalmente para calcular migración del ion cloruro en el concreto, se comprueba que cumple con las pautas requeridas por la norma, tales como lectura de temperatura, el voltaje con un valor de 30v, la medición de la penetración de los iones de cloruro.

Se observó que el uso de ceniza volante y humo de sílice en la elaboración de las muestras, le concede un incremento con respecto al desempeño de su resistencia mecánica y de fisuración en los períodos tempranos de fraguado, pero que genera un aumento de su permeabilidad a cloruros.

13.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a los ensayos realizados en este trabajo de grado, surgieron una cadena de recomendaciones, que se deben tener en cuenta para los futuros ensayos de laboratorio, estudios e investigaciones que se realicen para evaluar la permeabilidad, corrosión y migración del ion cloruro en estructuras de concreto, las cuales son:

- Es de vital importancia destacar que la agrupación de cloruros varía con el transcurrir del tiempo, también depende de los diferentes escenarios ambientales y de la dosificación con que fue realizado el concreto.
- De acuerdo a las características de la ley de Kirchhoff, se puede implementar este principio en los procesos de ensayos de migración debido a su incidencia en la penetración de los iones.
- En el presente trabajo de grado, se realizó la simulación del fenómeno que corresponde a la migración de iones de cloruro en el concreto y basados en los resultados que fueron adquiridos por medio de la implementación del ensayo Nord Test Build 492, se establece que es recomendable seguir con el estudio para llegar a generar un pronóstico de la duración del concreto.
- Se aconseja que para investigaciones futuras se tengan en cuenta el fenómeno de carbonatación del concreto que influye en el deterioro por corrosión de las estructuras de concreto, pero que para este documento no fue asumido.
- Se ha demostrado que la migración de iones de cloruro, es un fenómeno que afecta gravemente a las construcciones de concreto, por lo cual es importante antes de aplicar un concreto realizar ensayos que caractericen cual debe ser el concreto óptimo a utilizar en la estructura.

14 BIBLIOGRAFÍA


- [1] “Modelos de penetración del ión cloruro orientados a la predicción de la vida útil de las estructuras de concreto,” 2014.
- [2] A. Del, V. Moreno, T. P. López, and M. M. Madrid, “El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado,” *Secr. Comun. y Transp. Inst. Mex. del Transp.*, no. 182, p. 75, 2001.
- [3] R. López *et al.*, “Durabilidad De La Infraestructura De Concreto Reforzado Expuesta a Diferentes Ambientes Urbanos De México,” vol. 292, no. 292, p. 149, 2006.
- [4] D. R. Tobergte and S. Curtis, “Influencia del deterioro por corrosion del acero sobre la realcalinizacion del conreto reforzado carbonatado,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [5] Akerlof, “Diseño de un prototipo electronico de medicionde la resistencia del concreto,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 1970, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [6] NT Build 492, “Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments,” *Measurement*, pp. 1–8, 1999.
- [7] ASTM C1202, “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration,” *Am. Soc. Test. Mater.*, no. C, pp. 1–8, 2012, doi: 10.1520/C1202-12.2.
- [8] ASTM I, “C12_02.pdf,” *ASTM Int.*, no. 95 mm, pp. 1–6, doi: 10.1520/C1202-10.
- [9] H. Juárez Valencia, “Modelos y Problemas de Difusión,” 2015.
- [10] S. H. K. W. et al Kosmatka, *Diseño y control de mezclas de Concreto*, vol. 62, no. 8. 2004.
- [11] G. Guevara Fallas, C. Hidalgo Madrigal, M. Pizarro García, I. Rodríguez Valenciano, L. D. Rojas Vega, and G. Segura Guzmán, “Efecto de la variación agua/cemento en el concreto,” *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 25, no. 2, p. 80, 2012, doi: 10.18845/tm.v25i2.1632.
- [12] 2011 Citra Kunia putri dan trisna insan Noor, *No Title No Title*, vol. 53, no. 9. 2013.

- [13] T. Harmsen, "El concreto y sus componentes," *Diseño De Estructuras De Concreto Armado*, pp. 11–27, 2002.
- [14] "5 acciones químicas que deterioran el concreto| ARGOS 360." [Online]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/5-acciones-quimicas-que-deterioran-el-concreto-1>. [Accessed: 16-Nov-2020].
- [15] "¿Como-trabajar-el-concreto-en-estructuras-marinas." [Online]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tecnologia-del-concreto/191como-trabajar-el-concreto-en-estructuras-marinas>. [Accessed: 17-Nov-2020].
- [16] "Askeland -Difusion.pdf." .
- [17] "Escuela Técnica Superior, Influencia de la concentración de cloruros en agua del mar," 2018.
- [18] D. A. De la Rosa, M. M. M. Teutli, and M. E. Ramírez, "Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo," *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 23, no. 3, pp. 129–138, 2007.
- [19] S. G.-P. y R. Fernando Belenguer Mula, Francisco Cosme de Mazarredo Pampló, Antonio Osorio Arijón, Juan José Palencia Guillén, Begoña Serrano Lanzarote, "Guía para la Inspección y Evaluación Preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes," p. 114, 2005.
- [20] <https://www.vitual.unal.edu.cocursos/Lecciones%203%03/2008>
- [21] AASHTO T259. (2012). *Standard method of test for resistance of concrete to chloride ion penetration*. 02(2012), 2–5.
- [22] AIS, A. C. de I. S. (2010). NCR10 - Título C: Concreto estructural. *Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Nsr-10*, 590.
- [23] Fernando Belenguer Mula, Francisco Cosme de Mazarredo Pampló, Antonio Osorio Arijón, Juan José Palencia Guillén, Begoña Serrano Lanzarote, S. G.-P. y R. (2005). *Guía para la Inspección y Evaluación Preliminar de estructuras de concreto en edificios existentes*. 114.
- [24] Bermúdez. (2016). Implementación del NT Build 492 para la determinación de la durabilidad del concreto reciclado. (Tesis de pregrado) Bogotá: Universidad de la Salle.

- [25] K.D. Stanish, R.D. Hooton and M.D.A. Thomas. "Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete: A Literature Review", University of Toronto, Department of Civil Engineering, Toronto, Canada, 1997.
- [26] Lea, F.M. "The Chemistry of Cement and Concrete", Edward Arnold, London, 1970.
- [27] Odd E. Gjrv. "Durability design and quality assurance of major concrete infrastructure", Norwegian University of Science and Technology - NTNU, Trondheim, Norway, 2013.
- [28] Odd E. Gjrv. "Durability design of concrete structures in severe environments", Taylor & Francis, New York, USA, 2009.
- [29] Thomas, M.D.A., Pantazopoulou, S.J., and Martin-Perez, B. "Service Life Modelling of Reinforced Concrete Structures Exposed to Chlorides-A Literature Review", prepared for the Ministry of Transportation, Ontario, at the University of Toronto, 1995.

15 ANEXOS

- **ANEXO 1. GUÍA DE LABORATORIO**
- **ANEXO 2. PROGRAMACIÓN DE LABORATORIO**

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA	Formato para elaborar Guías de asignaturas teórico – prácticas	Código: Fecha revisión:
---	---	----------------------------

PROGRAMA: Ingeniería Civil		FECHA: 18/11/2020	
ASIGNATURA: Materiales de construcción	NOMBRE DE LA PRÁCTICA: Guía de laboratorio del ensayo experimental de migración iones cloruro de Sodio Para Evaluar la permeabilidad del concreto según la Norma NT Build 492	PRÁCTICA No: 1 DURACIÓN APROX: 26h	VERSION: 1

1. INTRODUCCIÓN

El concreto reforzado es uno de los materiales más usados a nivel mundial en construcciones verticales, obras de vías y carreteras, ya que sus características físico-químicas brindan ciertas ventajas sobre otros materiales de construcción pero estas características se ven afectadas por ciertos factores del medio ambiente que van generando un deterioro de las estructuras de concreto.

El concreto es un material poroso a través del cual puede circular cualquier fluido, esto hace que sus propiedades se vean alteradas y degradadas durante el transcurso del tiempo, debido a este fenómeno también se genera la penetración de iones de cloruro de sodio que al contacto con el acero del concreto reforzado se genera corrosión y a su vez la fisuración del mismo.

La implementación del ensayo NT Build 492 nace de la necesidad de tener un estudio calificado y eficiente que permita evaluar la capacidad que tienen los concretos de resistir la permeabilidad ante ataques químicos en un tiempo corto.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad de incluir habilidades constructivas que certifiquen la elaboración de estructuras de concreto reforzado que posean un buen comportamiento en ambientes hostiles, ha sido una de las mayores preocupaciones en el círculo de la construcción. En el año 1756, John Smeaton construyó el faro de Eddystone Rock, en Inglaterra y fue la primera vez que se implementó un tipo específico de cemento para un ambiente marino. Cuando la estructura se tuvo que demoler por la evidente erosión de la roca bajo el faro, la estructura aún conservaba su integridad. [7]

Esta experiencia sirvió como base para que investigadores e instituciones alrededor del mundo comenzaran a desarrollar procedimientos para mejorar la calidad de los cementos utilizados en estructuras marítimas, ya que los concretos que se encuentran sometidos a estos ambientes, soportan los procesos de deterioro como ataques químicos, reacción álcali-áridos, a ciclos de hielo y deshielo, a erosión por mareas, etc. Frente a estos ataques es que la integridad de la matriz cementícea del hormigón se ve comprometida y se va destruyendo a medida que pasa el tiempo. [7]

El año 2001, solo en los Estados Unidos, el costo de reparación de puentes debido a la corrosión de sus armaduras fue estimado en unos US\$ 8.3 billones [8] lo que ejemplifica la gran problemática generada por este proceso. La principal causa de corrosión de la armadura en los hormigones marítimos es la penetración del ión cloruro, presente en el agua de mar hasta el nivel de la armadura.

Las diferentes modalidades en que los iones de cloruro pueden penetrar en el concreto son la absorción capilar, presión hidrostática y difusión. El método mecanismo más eficiente es la penetración por difusión, en que los iones de cloruro se mueven bajo un gradiente de concentración. Para esto es necesario que el concreto posea una fase acuosa continua, con un gradiente de concentración de iones en ella. [1]



3. OBJETIVO(S) ESPECÍFICO(S)

- Analizar la conducta frente a la migración del ion cloruro en el concreto, a través del Metodo NT Build 492.
- Ejecutar varios ensayos con diferentes modelos para obtener habilidad en el análisis y forma de caracterización de muestras, a través de parámetros estadísticos y análisis de errores.
- Determinar el mejor comportamiento de la muestra frente al coeficiente de migración.
- Establecer el nivel de afectación de las probetas sometidas a la agresión de cloruros, así como apreciar la efectividad de los componentes de mitigación

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1 Concreto. Mezcla de dos componentes, agregados y pasta, la pasta está compuesta por cemento portland y el agua, une los agregados normalmente arena y grava que se dividen en dos grupos agregados finos y gruesos, la calidad del concreto depende de las propiedades de la pasta del agregado y de la unión entre los dos [2]

4.1.2 Curado. Proceso a través del cual se mantiene el concreto, mortero grout o revoque fresco en una condición húmeda a una temperatura favorable con el fin de mejorar sus propiedades, garantizar la hidratación y el endurecimiento satisfactorio del material [2]

4.3 Migración. El movimiento de los iones bajo la acción de un campo eléctrico externo [3]

4.4 Difusión. El movimiento de las moléculas o iones bajo un gradiente de concentración o, más estrictamente, potencial químico, a partir de una zona de alta concentración a una zona de baja concentración [3]

4.5 Coeficiente de difusión. Es un valor numérico obtenido de pruebas que depende de parámetros internos del material como, tipo de cemento temperatura, porosidad, condiciones de curado, tipo de cationes asociados a iones de cloruro[4].

4.6 Estanqueidad. Habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible [2]

4.7 Permeabilidad. Capacidad de un material de ser atravesado por sustancias como líquidos gases o iones sin alterar su estructura interna.[5]

4.8 Cloruro. Compuesto químico que contiene iones de cloruro tiene una gran capacidad para descomponerse en iones al estar inmerso en el agua siendo este uno de los mejores electrolitos. Los iones de cloruro promueven la corrosión del acero de refuerzo [2]

4.9 Corrosión. La corrosión corresponde al deterioro del metal por la reacción química electroquímica o electrolítica. [2]

4.10 Durabilidad. La capacidad que tiene el concreto, mortero, grout o revoque de cemento portland de resistir a la acción de las intemperies, ataques químicos, congelación, deshielo y abrasión. [2]

4.11 Electromigración. Es un fenómeno en el que los iones en solución y los coloides que tienen carga eléctrica se mueven a través del campo eléctrico con una velocidad proporcional al producto de la fuerza del campo eléctrico y la movilidad del ión o partícula [6]

4.12 Resistividad eléctrica Cuando los cloruros penetran en la capa pasivadora del refuerzo, éstos se combinan con los iones de hierro, formando un compuesto de cloruro de hierro soluble, el cual lleva el hierro para dentro del concreto para más tarde oxidarse



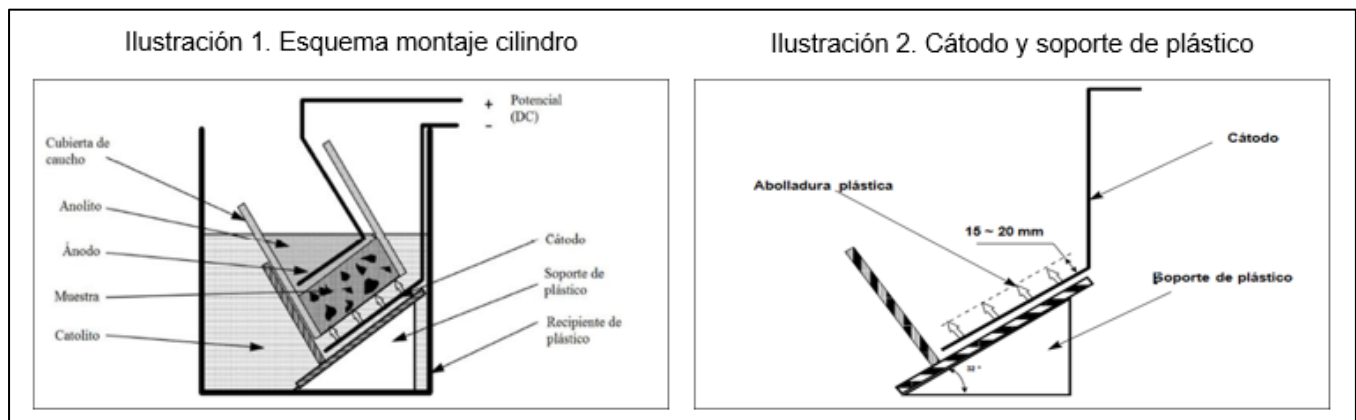
6.14.13 Ion. Partícula cargada eléctricamente al perder o ganar uno o más electrones.[4]

4.2 MARCO TEÓRICO

El método explicado en la (NT Build 492, 1999) es el procedimiento para determinar el coeficiente de migración de cloruro en el concreto o materiales a base de cemento, se usa en muestras endurecidas con el fin de conocer la resistencia del material a la penetración del cloruro.

El método requiere muestras cilíndricas con un diámetro de 100 mm y un espesor de 50 mm, cortada de los cilindros de fundición o núcleos perforados con una longitud mínima de 100 mm. Los cilindros y núcleos deben cumplir los requisitos descritos en NT BUILD 201 y NT BUILD 202 respectivamente. Tres muestras se deben utilizar en la prueba.

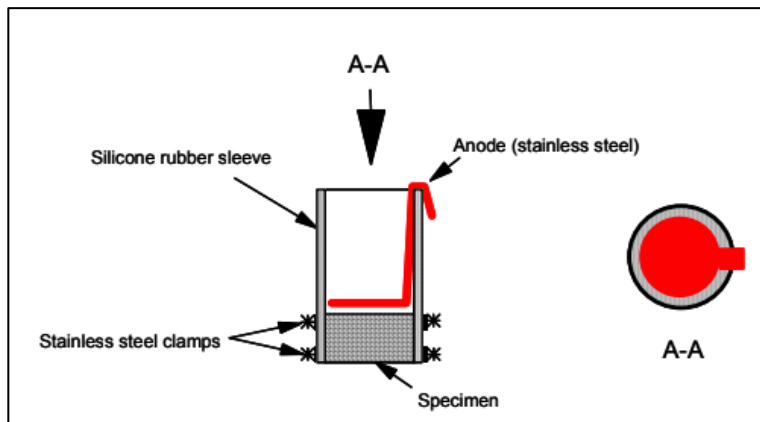
A continuación, se muestra el esquema con sus partes principales para el montaje del ensayo NT Build 492:



Fuente: NT Build 492, 1999



Ilustración 3. Manga de caucho ensamblada con la muestra, abrazaderas y ánodo



Fuente: NT Build 492, 1999

4.2.1 Preparación de la prueba

- Llenar el recipiente de catódico con alrededor de 12 litros de solución de NaCl al 10%.
- Montar la manga de caucho sobre la muestra tal como se muestra en la ilustración 3 y fijarlo con dos abrazaderas. Si la superficie curva de la muestra no es suave, o hay defectos en la superficie curvada, que podría resultar en una fuga significativa, aplicar una línea de sellador de silicona para mejorar la estanqueidad.
- Coloque la muestra en el soporte de plástico en el depósito de catódico (véase la ilustración 1).
- Llenar el manguito por encima de la muestra con 300 ml solución de anolito (NaOH 0,3 M).
- Sumergir el ánodo en la solución de anolito.
- Conecte el cátodo al polo negativo y el ánodo al polo positivo de la fuente de alimentación.

4.2.2 Prueba de migración

- Definir tensión a 30V y registrar la corriente inicial a través de cada muestra.
- Ajustar la tensión si es necesario (como se muestra en la Tabla 1). Después del ajuste, tenga en cuenta el valor de la corriente inicial de nuevo.
- Registrar la temperatura inicial en cada solución de anolito, como se muestra por el termómetro o termopar.
- Elija una duración de la prueba apropiada de acuerdo con la corriente inicial (véase la Tabla 1).
- Registrar la corriente y temperatura final antes de terminar la prueba.



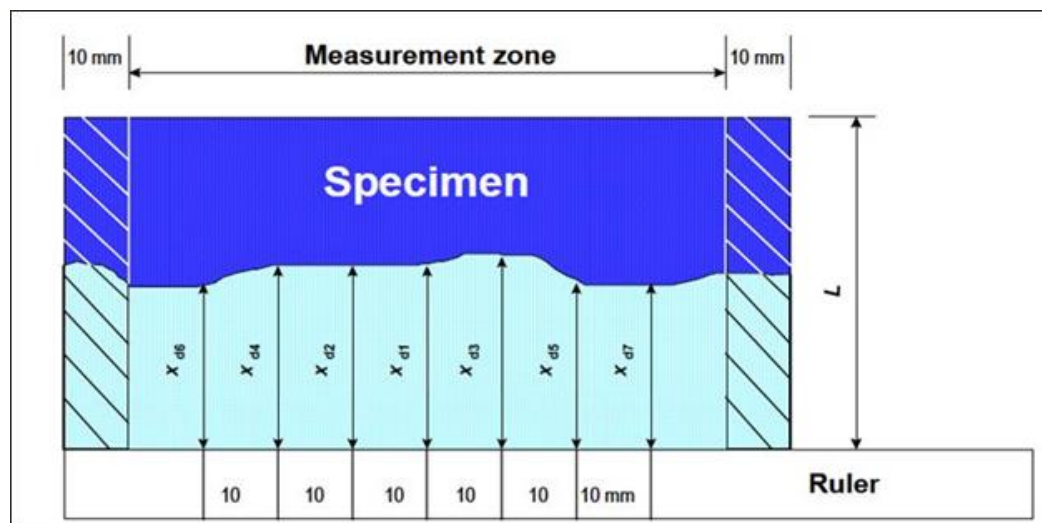
Tabla 1. Tensión y duración

Corriente inicial I_0 / 30V (Con 30 V) (mA)	Voltaje aplicado U (Después del ajuste) (V)	Posible nueva corriente I_0 (MA)	Duración de la prueba (horas)
$I_0 < 5$	60	$I_0 < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_0 < 20$	48
$10 \leq I_0 < 15$	60	$20 \leq I_0 < 30$	24
$15 \leq I_0 < 20$	50	$25 \leq I_0 < 35$	24
$20 \leq I_0 < 30$	40	$25 \leq I_0 < 40$	24
$30 \leq I_0 < 40$	35	$35 \leq I_0 < 50$	24
$40 \leq I_0 < 60$	30	$40 \leq I_0 < 60$	24
$60 \leq I_0 < 90$	25	$50 \leq I_0 < 75$	24
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_0 < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_0 < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_0 < 120$	24
$I_0 \geq 360$	10	$I_0 \geq 120$	6


Fuente: NT Build 492, 1999

Para analizar los resultados de las pruebas, las normas emplean las siguientes gráficas tomando medidas cada 10 mm.

Ilustración 3. Profundidades de penetración del ion cloruro



Fuente: NT Build 492, 1999

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA	Formato para elaborar Guías de asignaturas teórico – prácticas	Código: Fecha revisión:
---	---	--------------------------------

4.2.3 Medición de la profundidad de penetración de cloruros

- Desmante la muestra siguiendo el procedimiento inverso al de 4.2.1. Una varilla de madera suele ser útil para quitar la funda de goma de la muestra.
- Enjuague la muestra con agua del grifo.
- Limpie el exceso de agua de las superficies de la muestra.
- Divida la muestra axialmente en dos piezas. Elija la pieza que tenga la sección dividida más casi perpendicular a las superficies de los extremos para la medición de la profundidad de penetración y conserve la otra pieza para el análisis del contenido de cloruro (opcional).
- Rocíe una solución de nitrato de plata 0,1 M sobre la sección recién dividida.
- Cuando la precipitación de cloruro de plata blanca sobre la superficie de la hendidura sea claramente visible (después de unos 15 minutos), mida la profundidad de penetración, con la ayuda del calibrador y una regla, desde el centro hasta ambos bordes a intervalos de 10 mm (ver ilustración 3) para obtener siete profundidades (notas 1, 2 y 3). Medir la profundidad con una precisión de 0,1 mm.

Nota 2: Si el frente de penetración a medir es obviamente bloqueado por el agregado, mueva la medición a al frente más cercano donde no hay un bloqueo significativo por agregado o alternatively, ignore esta profundidad si hay más de cinco profundidades válidas.

Nota 3: Si hay un defecto significativo en la muestra que resulta en un frente de penetración mucho más grande que el promedio, ignore este frente como indicativo de la profundidad de penetración, pero anote e informe la condición.

Nota 4: Para evitar el efecto de borde debido a un grado de saturación no homogéneo o una posible fuga, no realice ninguna medición de profundidad en la zona dentro de unos 10 mm desde el borde (consulte la ilustración 3).

5. RECURSOS UTILIZADOS

Equipos

- Calibrador pie de rey
- Regla con una escala mínima de 1 mm
- Amperímetro ± 1 mA
- Termómetro
- Equipo para el análisis de cloruro como se requiere por el método de ensayo.

Materiales

- Recipiente 20L
- Vaso de precipitado 1000 ml
- Atomizador spray

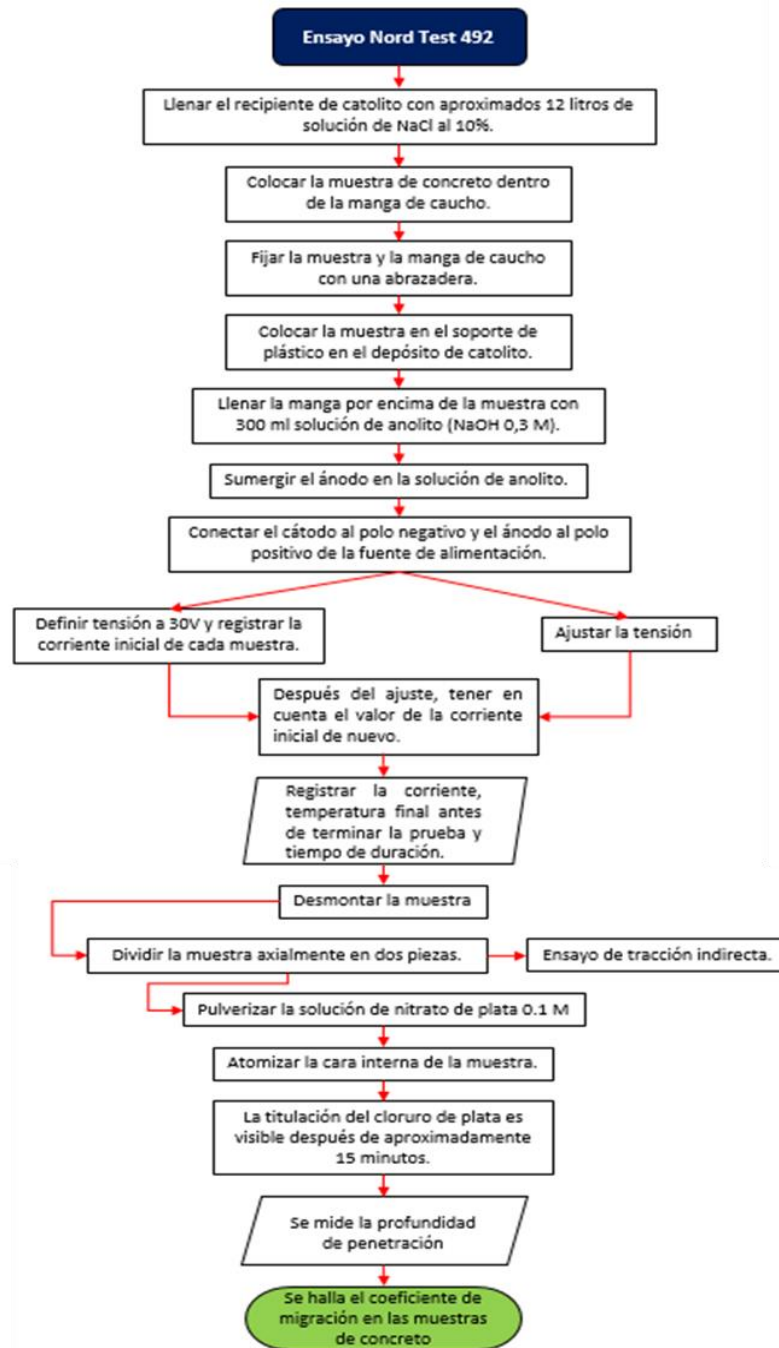
Reactivos

- Nitrato de plata AgNO_3
- Cloruro de Sodio NaCl
- Hidróxido de sodio NaOH
- Agua destilada o desionizada



6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Ilustración 3. Procedimiento Ensayo NordTest 492



Fuente: Tesis, Téllez D, González A, Elaboración de un montaje experimental de migración iones cloruro de sodio, 2020



7. TOMA DE DATOS

Tabla 2. Identificación coeficiente de migración

Ensayo NT Build-492. Universidad Católica									
1	Muestra	0	Muestra	1	Muestra	2	Muestra	3	
	Temperatura	°C	Temperatura	°C	Temperatura	°C	Temperatura	°C	
	Longitud	mm	Longitud	mm	Longitud	mm	Longitud	mm	
	U Voltaje	V	U Voltaje	V	U Voltaje	V	U Voltaje	V	
	tiempo	hr	tiempo	hr	tiempo	hr	tiempo	hr	
	Xd Penetración	mm	Xd Penetración	mm	Xd Penetración	mm	Xd Penetración	mm	
	D _{nssm}	x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	x10 ⁻¹² m ² /s	D _{nssm}	x10 ⁻¹² m ² /s	

Fuente: Tesis, Téllez D, González A, Elaboración de un montaje experimental de migración iones cloruro de sodio, 2020

Tabla 3. Recopilación datos

	0	1	2	3
MUESTRA				

Fuente: Tesis, Téllez D, González A, Elaboración de un montaje experimental de migración iones cloruro de sodio, 2020

8. CÁLCULOS

8.1 Coeficiente de Migración (x10⁻¹² m²/s)

Los valores medidos en los puntos indicados son promediados, y junto con los valores de temperatura inicial y final, conceden los datos de entrada para el cálculo del coeficiente de migración de cloruros de cada muestra de concreto, mediante la fórmula entregada por la Norma:


Cálculo

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)LX_d}{U - 2}} \right)$$

Ecuación 1: Determinación de coeficiente de migración

Dónde:

- U:** Valor absoluto de la tensión aplicada, V
- X_d:** Valor medio de la profundidad de penetración, mm.
- t:** Duración de la prueba, segundo.
- T:** Valor promedio de temperaturas iniciales y finales en la solución de anolito, °C
- L:** Espesor de la muestra, mm.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA	Formato para elaborar Guías de asignaturas teórico – prácticas	Código: Fecha revisión:
---	---	--------------------------------

Según la norma NT Build 492 la ecuación 1, viene acondicionada para realizar el cálculo en milímetros y segundos con lo cual se obtendrá un resultado en m^2/s .

9. PREGUNTAS GUÍA PARA EL INFORME TÉCNICO

- ¿Que representa en coeficiente de migración?
- Establezca un rango para la caracterización del concreto.
- Indique las variables más importantes para la caracterizar el concreto.
- Que sistemas, técnicas, sustancias y/o procesos existen para retirar determinar la migración del ion cloruro en el concreto.

10. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- [1] “Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería civil permeabilidad a cloruros en hormigones marítimos,” 2015.
- [2] S. H. K. W. et al Kosmatka, *Diseño y control de mezclas de Concreto*, vol. 62, no. 8. 2004.
- [3] NT Build 492, “Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments,” *Measurement*, pp. 1–8, 1999.
- [4] “Askeland -Difusion.pdf.” .
- [5] “Escuela Técnica Superior, Influencia de la concentración de cloruros en agua del mar,” 2018.
- [6] D. A. De la Rosa, M. M. M. Teutli, and M. E. Ramírez, “Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 23, no. 3, pp. 129–138, 2007.
- [7] Lea, F.M. “The Chemistry of Cement and Concrete”, Edward Arnold, London, 1970.
- [8] Odd E. Gjrv. “Durability design of concrete structures in severe environments”, Taylor & Francis, 2009.
- [9] Tesis, Téllez D, González A, montaje experimental de migración iones cloruro de sodio, 2020

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA
SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO:

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506251	Diego Andres Tellez Botivar	datellez51@ucatolica.edu.co	350.292.1482
506191	Andrés Felipe Gonzalez Zuluaga	afgonzalez291@ucatolica.edu.co	321.399.2454

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:

ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	03/02/2020	18:00	20:00	08/02/2020	13:00	15:00	B	Migración Cloruros
2	12/02/2020	18:00	20:00	15/02/2020	13:00	15:00	B	Migración Cloruros
3	17/02/2020	18:00	20:00	21/02/2020	13:00	15:00	B	Migración Cloruros
4	26/02/2020	18:00	20:00	29/02/2020	13:00	15:00	B	Migración Cloruros
5							B	Migración Cloruros

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.

(2) A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Vaso Precipitado 1000ml	Und	1	X	
Termómetro	Und	1	X	
Calibrador pie de rey	Und	1	X	

OBSERVACIONES

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS


SOLICITANTE 4

Andrés Gonzalez
SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 5

SOLICITANTE 3

DOCENTE / COORDINADOR

COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co